

Universidad Carlos III de Madrid
Escuela Politécnica Superior

Departamento de Ingeniería Mecánica



Ingeniería Técnica Industrial Mecánica

ESTUDIO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE ELEMENTOS PRIMARIOS DE UNA MOTOCICLETA

PROYECTO FIN DE CARRERA

AUTORA: LUCÍA FITO BLÁZQUEZ

TUTOR: HIGINIO RUBIO ALONSO

LEGANÉS / ABRIL 2014

**Título: ESTUDIO, DISEÑO Y FABRICACIÓN DE ELEMENTOS
PRIMARIOS DE UNA MOTOCICLETA**

Autora: LUCÍA FITO BLÁZQUEZ

Tutor: HIGINIO RUBIO ALONSO

EL TRIBUNAL

Presidente: Cristina Castejón Sisamón

Secretario: Alejandro Bustos Caballero

Vocal: Carlos Rodríguez Villanueva

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 7 de Abril de 2014 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de _____

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTOS

No quisiera dejar pasar la oportunidad de agradecer a todas aquellas personas que formaron parte de este proyecto su esfuerzo, trabajo y dedicación. Gracias a todos y cada uno de ellos todo esto fue posible.

Me gustaría hacer una especial mención:

A mi tutor, Higinio Rubio, por sus enseñanzas, valores y toda la ayuda prestada.

Al director técnico de esta aventura, Carlos Beltrán, todo un genio y algo loco, que me mostro la verdadera esencia de un ingeniero.

Y por supuesto, a mi familia por su paciencia y apoyo incondicional.

- A todos, gracias -

Resumen

El objetivo de este proyecto es diseñar y fabricar la tija y el chasis, elementos primarios de una motocicleta. Los diseños finales han sido empleados para la propuesta del equipo de la Universidad Carlos III de Madrid durante la II Competición Internacional MotoStudent.

Partiendo de los diferentes tipos de tijas y chasis que podemos encontrar en el mundo de la motocicleta, se selecciona el más conveniente en función de ciertos parámetros como: sencillez, viabilidad de fabricación, costes, etc.

En primer lugar se prediseñan los elementos primarios. A continuación comienza el proceso de evolución, teniendo en cuenta que los diseños deben cumplir con los requisitos estructurales necesarios para ser acoplados en la motocicleta.

Se lleva a cabo el análisis de elementos finitos para obtener el diseño final, y se procede a la optimización del diseño haciendo las modificaciones necesarias hasta obtener un modelo que cumpla todos los requisitos de seguridad necesarios en una motocicleta de competición.

Finalmente se analizan los procesos de fabricación más adecuados y se documenta al completo el proceso de fabricación seguido.

Palabras clave: MotoStudent, motocicleta, tija, chasis, análisis elementos finitos, diseño, proceso fabricación.

Abstract

The goal of this project is to design and manufacture some structural elements of a motorcycle: the triple tree and chassis. The final designs were used in the racing motorbike prototype developed by Carlos III's team during the Motostudent II International Competition.

This work studies different types of triple trees and chassis. Aspects like simplicity, manufacturability, cost, engineering design... are evaluated to choose the most suitable design.

At the beginning a study of the structural elements is done. After that the development process started taking into account that they must comply with minimum structural requirements.

Finite element analysis is performed to obtain the final design. Preliminary designs are improved, getting a model that fulfills safety requirements.

Finally the most appropriate manufacturing processes are analyzed and the entire manufacturing process followed is documented.

Keywords: MotoStudent, motorcycle, triple trees, chassis, finite element analysis, design, manufacturing process.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	21
1.1 ÁMBITO Y JUSTIFICACIÓN	21
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO	23
1.3 FASES DEL PROYECTO	24
1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	25
2. COMPETICIÓN INTERNACIONAL MOTOSTUDENT	27
2.1 ASPECTOS GENERALES.....	27
2.2 ANTECEDENTES: I EDICIÓN MOTOSTUDENT (2010/2011).....	28
2.3 II EDICIÓN MOTOSTUDENT (2012/2013).....	29
2.4 DATOS DE PARTIDA.....	31
2.4.1 REGLAMENTO TÉCNICO	31
2.4.1.1 REQUISITOS GENERALES.....	31
2.4.1.2 CICLÍSTICA	31
2.4.2 PRUEBAS DE HOMOLOGACIÓN	35
2.4.3 COMPETICIÓN: LA CARRERA.....	37
3. LA MOTOCICLETA COMO ELEMENTO MECÁNICO	39
3.1 HISTORIA DE LA MOTOCICLETA	39
3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE MOTOCICLETAS	41
3.3 PARTES QUE COMPONEN UNA MOTOCICLETA	45
3.4 ELEMENTO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN - DIRECCIÓN: LA TIJA.....	50
3.4.1 INTRODUCCIÓN	50
3.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA TIJA.....	51
3.5 COMPONENTE PRINCIPAL DEL SISTEMA BASTIDOR: EL CHASIS	52
3.5.1 INTRODUCCIÓN	52
3.5.2 CARACTERÍSTICAS DEL CHASIS.....	52
3.5.3 CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE CHASIS	54
3.5.4 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO	59
3.5.4.1 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MOTOCICLETA EN FRENADA.....	59
3.5.4.2 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MOTOCICLETA EN CURVA.....	60

4. METODOLOGÍA	63
4.1 DATOS DE PARTIDA	63
4.2 HERRAMIENTAS DE DISEÑO, ANÁLISIS Y FABRICACIÓN	66
4.3 CRITERIOS PARA LA FABRICACIÓN	66
4.4 PARÁMETROS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO DEL CHASIS	67
4.5 CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS	69
5. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS PRIMARIOS: TIJA Y CHASIS	75
5.1 INTRODUCCIÓN	75
5.2 ELEMENTOS INICIALES OBLIGATORIOS	76
5.3 BOCETO: MODELO 2D	78
5.4 PARÁMETROS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO DEL CHASIS	83
5.5 RESULTADOS DE LA COMPARATIVA DE LOS TIPOS DE CHASIS	84
5.6 PROPUESTA DE DISEÑO SELECCIONADA PARA EL CHASIS	85
5.7 CARGAS PARA EL ANÁLISIS	86
5.8 DISEÑO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: LA TIJA	87
5.8.1 EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS EN EL PROCESO DE DISEÑO (TIJA)	92
5.8.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS DISTINTOS MODELOS (TIJA)	94
5.8.3 SELECCIÓN DEL MODELO PROPUESTO MÁS FAVORABLE (TIJA)	96
5.9 DISEÑO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: EL CHASIS	98
5.9.1 EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS EN EL PROCESO DE DISEÑO (CHASIS)	100
5.9.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS DISTINTOS MODELOS (CHASIS)	106
5.9.3 SELECCIÓN DEL MODELO PROPUESTO MÁS FAVORABLE (CHASIS)	111
6. SIMULACIÓN DE ELEMENTOS PRIMARIOS: TIJA Y CHASIS	113
6.1 SIMULACIÓN DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: LA TIJA	113
6.1.1 SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA TIJA EN FRENADA	114
6.1.2 SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA TIJA EN CURVA	116
6.2 SIMULACIÓN DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: EL CHASIS	118
6.2.1 SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CHASIS EN FRENADA	119
6.2.2 SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CHASIS EN CURVA	121

7. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS PROTOTIPOS SELECCIONADOS	123
7.1 INTRODUCCIÓN.....	123
7.2 PROTOTIPO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL TIJA.....	123
7.2.1 MATERIAL Y CONSIDERACIONES.....	124
7.2.2 SIMULACIÓN CNC	125
7.2.3 FABRICACIÓN DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL: TIJA.....	126
7.3 PROTOTIPO DEL ELEMENTOS ESTRUCTURAL: CHASIS.....	129
7.3.1 MATERIAL Y CONSIDERACIONES.....	129
7.3.2 FABRICACIÓN DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL: CHASIS.....	130
7.3.3 DISEÑO DE ELEMENTO AUXILIAR: POTRO DE SOLDADURA.....	132
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	137
8.1 CONCLUSIONES.....	137
8.2 TRABAJOS FUTUROS	139
9. PRESUPUESTO.....	141
10.BIBLIOGRAFÍA	145
ANEXOS	147
ANEXO A: PLANO DE LA TIJA.....	147
ANEXO B: PLANO DE LA TUERCA DE FIJACIÓN	148
ANEXO C: PLANO DE LA TUERCA DE TERMINACIÓN	149
ANEXO D: PLANO DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN.....	150
ANEXO E: PLANO DE LA PIPA DE DIRECCIÓN	151
ANEXO F: PLANO DEL CHASIS	152

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Logo de la Competición Internacional MotoStudent.....	21
Ilustración 2 - Imagen representativa del proceso de diseño de una motocicleta.....	22
Ilustración 3 - Equipo UC3Moto durante el evento “Semana de la Moto” con la colaboración de la Escuela PortalMotos y la Asociación Muévete por Madrid en Moto.....	22
Ilustración 4 - Aspecto de la Ciudad del Motor de Aragón durante la primera edición de la Competición Internacional MotoStudent	27
Ilustración 5 – Integrantes del equipo Moto-MaqLab-Uc3m.....	28
Ilustración 6 – Diseño del Equipo Moto-MaqLab-Uc3m premiado como mejor innovación tecnológica en la primera edición de la Competición Internacional MotoStudent.....	28
Ilustración 7 - Equipo Moto-MaqLab-Uc3m tras obtener el premio a “mejor innovación tecnológica”	29
Ilustración 8 - Tríptico de la II Competición Internacional MotoStudent	29
Ilustración 9 - Anexo de los planos incluidos en el reglamento técnico de la competición [2]	34
Ilustración 10 - Pruebas de homologación del chasis previas a la carrera.....	35
Ilustración 11 - Pruebas de verificación de cotas previas a la carrera	35
Ilustración 12 – Clasificación de orden de salida para la carrera de las motocicletas	37
Ilustración 13 - Bicicleta con motor a vapor de Sylvester Howard Roper (1868)	39
Ilustración 14 – Primera motocicleta de madera y motor de combustión interna (1885)	39
Ilustración 15 - Motocicleta de los hermanos Werner (1897)	40
Ilustración 16 – Motocicleta Deportiva (<i>Aprilia RSV Mille R 2002</i>).....	41
Ilustración 17 - Motocicleta Gran Turismo (Honda Gold Wing 1800).....	42
Ilustración 18 -Motocicleta Naked (Yamaha XJ6 naked 2009).....	42
Ilustración 19 - Moto Custom (Suzuki Marauder VZ1600 2007).....	43
Ilustración 20 - Motocicleta Scooter (Vikers Twister 125 2009).....	43
Ilustración 21 - Motocicleta Cross (KTM SX 400)	44
Ilustración 22 - Motocicleta Enduro (Suzuki RM 250 E).....	44
Ilustración 23 - Motocicleta Trail (Guzzi Stelvio 1200 NTX 8V)	45
Ilustración 24 - Llantas y neumáticos de una motocicleta de competición.....	46
Ilustración 25 – Corte interior de la horquilla de función independiente (Showa)	46
Ilustración 26 - Sistema de dirección modelado mediante software de CAD.....	47
Ilustración 27 - Conjunto chasis - subchasis mecanizado en aluminio para pitbike	47
Ilustración 28 - Motor monocilíndrico 4 tiempos y 250 c.c. (Honda CRF 250 L)	48
Ilustración 29 - Sistema de transmisión primario y secundario motocicleta de competición.....	48
Ilustración 30 – Silenciador, componente del sistema de escape.	49
Ilustración 31 – Diseño CAD del conjunto basculante y suspensión trasera (monoamortiguador)	49
Ilustración 32 – Sistema de accionamiento (maneta) y disco de freno delantero	50
Ilustración 33 - Sistema dirección (Tija)	50
Ilustración 34 - Tija superior (Ducati Desmosedici Moto GP de Stoner).....	51
Ilustración 35 - Tija superior (Yamaha YZR-M1 Moto GP de Lorenzo).....	51
Ilustración 36 - Esquema de la estructura de una motocicleta.....	52
Ilustración 37 - Geometría básica de la motocicleta.....	53

Ilustración 38 - Chasis simple cuna cerrado	54
Ilustración 39 - Chasis simple cuna abierto	55
Ilustración 40 - Chasis doble cuna cerrado	55
Ilustración 41 - Chasis multitubular Ducati	56
Ilustración 42 - Chasis monoviga	56
Ilustración 43 - Chasis doble viga	57
Ilustración 44 - Chasis doble viga cerrado	57
Ilustración 45 - Chasis monocasco	58
Ilustración 46 - Chasis auto-portante	58
Ilustración 47 – Flexión longitudinal del chasis debido a los esfuerzos de frenada	59
Ilustración 48 – Motocicletas GP en el momento de frenada	60
Ilustración 49 – Valentino Rossi en carrera trazando una curva	60
Ilustración 50 - Flexión lateral del chasis debido a los esfuerzos de tomar la curva	60
Ilustración 51 – Stoner realizando un contra-manillar durante una carrera MotoGP	61
Ilustración 52 – Torsión en la pipa de dirección del chasis debido a los esfuerzos de tomar la curva	61
Ilustración 53 – Plano de la llanta delantera Yamaha YZF 125R para MotoStudent	63
Ilustración 54 - Plano de la llanta trasera Yamaha YZF 125R para MotoStudent	63
Ilustración 55 - Plano del amortiguador trasero Yamaha YZF 125R para MotoStudent	64
Ilustración 56 - Plano de la horquilla Yamaha YZF 125R para MotoStudent	64
Ilustración 57 - Plano del motor Yamaha WRF 250 para MotoStudent	65
Ilustración 58 - Neumáticos de competición	65
Ilustración 59 - Fuerza normal, reacción sufrida por la motocicleta en la frenada	70
Ilustración 60 – Fuerza de rozamiento, reacción sufrida por la motocicleta en la frenada	71
Ilustración 61 - Fuerza lateral, reacción sufrida por la motocicleta en la entrada en curva	72
Ilustración 62 – Restricciones de movimiento aplicadas para la simulación	72
Ilustración 63 – Ejemplo del paso del diseño CAD a la fabricación del prototipo	75
Ilustración 64 - Conjunto llanta/neumático delantero de la Yamaha YZF 125R	76
Ilustración 65 - Horquillas y tija inferior Yamaha del modelo YZF 125R	77
Ilustración 66 - Motor Yamaha WR 250F	77
Ilustración 67 - Esquema concepto 2D	78
Ilustración 68 – Esquema de cota (distancia entre ejes)	78
Ilustración 69 - Esquema de cota (lanzamiento)	79
Ilustración 70 - Posición variable de la barra de suspensión respecto de la tija	80
Ilustración 71 - Distancia relativas al basculante y a la posición de su eje respecto de la pipa	80
Ilustración 72 - Posición agrupada, la más favorable aerodinámicamente	81
Ilustración 73 - Esquema medidas posición piloto	81
Ilustración 74 – Posición y distancia necesaria entre rueda y subchasis	82
Ilustración 75 – Boceto 2D inicial con la geometría de la motocicleta	82
Ilustración 76 – Muestras de los chasis más favorables (doble cuna abierta y auto-portante)	84
Ilustración 77 - Chasis Britten (auto-portante)	85
Ilustración 78 - Chasis KTM (doble cuna abierto)	85
Ilustración 79 – Aplicación de las cargas de frenada para la simulación	86

Ilustración 80 – Diseño original de la tija superior YZF 125 R	87
Ilustración 81 - Tija inferior modelada SolidWorks.....	87
Ilustración 82 – Apartado dedicado a la columna de dirección en el Catalogo de Repuestos YZF 125R [3]	88
Ilustración 83 - Zona pulida de la barra de dirección, ejerciendo de pista inferior para cojinete .89	
Ilustración 84 – Rodamiento superior de bolas de la dirección.....	89
Ilustración 85 – Plano de diseño de la tuerca de fijación.....	90
Ilustración 86 – Último tramo de la barra de dirección y el diseño de la tuerca de terminación .90	
Ilustración 87 – Plano y diseño de la columna de dirección de fabricación propia	91
Ilustración 88 – Esquema de la evolución del diseño de la tija.....	92
Ilustración 89 - Diseño modelado de la tija 1.0.....	92
Ilustración 90 - Diseño modelado de la tija 2.0.....	93
Ilustración 91 - Diseño modelado de la tija 3.0.....	93
Ilustración 92 - Análisis MEF del diseño 1.0 de la tija, simulación en frenada.....	94
Ilustración 93 -Análisis MEF del diseño 2.0 de la tija, simulación en frenada	95
Ilustración 94 - Análisis MEF del diseño 3.0 de la tija, simulación en frenada.....	95
Ilustración 95 - Modelado en Pro Engineer de la tija propuesta (Diseño 3.0)	96
Ilustración 96 - Planos definitivos de la tija propuesta (Diseño 3.0).....	97
Ilustración 97 – Plano de diseño de la pipa de dirección del chasis	98
Ilustración 98 – Choque de los topes de la tija inferior y pipa de dirección que acotan el giro	98
Ilustración 99 - Esquema de la geometría del eje chasis-basculante-motor	99
Ilustración 100 – Esquema de la evolución del diseño del chasis.....	100
Ilustración 101 – Modelado del diseño del chasis 1.0	100
Ilustración 102 - Modelado del conjunto formado por el diseño del chasis 1.0.....	101
Ilustración 103 – Modelado del diseño del chasis 2.0	101
Ilustración 104 - Modelado del conjunto formado por el diseño del chasis 2.0.....	101
Ilustración 105 – Modelado del diseño del chasis 4.0	102
Ilustración 106 - Modelado del conjunto formado por el diseño del chasis 4.0.....	102
Ilustración 107 – Modelado del diseño del chasis 5.0	103
Ilustración 108 – Modelado del diseño del chasis 6.0	103
Ilustración 109 – Modelado del diseño del chasis 7.0	104
Ilustración 110 - Modelado del conjunto formado por el diseño del chasis 7.0.....	104
Ilustración 111 – Subchasis elemento auxiliar de la motocicleta Kawasaki ZX 6 R.....	105
Ilustración 112 - Modelado en CAD del diseño propuesto para el subchasis.....	105
Ilustración 113 - Análisis MEF del diseño 2.0 del chasis, simulación en frenada.....	106
Ilustración 114 - Análisis MEF del diseño 4.0 del chasis, simulación en frenada.....	107
Ilustración 115 - Análisis MEF del diseño 5.0 del chasis, simulación en frenada.....	108
Ilustración 116 - Análisis MEF del diseño 6.0 del chasis, simulación en frenada.....	109
Ilustración 117 - Análisis MEF del diseño 7.0 del chasis, simulación en frenada.....	110
Ilustración 118 - Modelado en Pro Engineer del chasis propuesto (Diseño 7.0)	111
Ilustración 119 - Planos definitivos del chasis propuesto (Diseño 7.0).....	111
Ilustración 120 - Zoom de la tija en el análisis de Von Mises en frenada	114
Ilustración 121 - Análisis Von Mises de la tija en frenada.....	114

Ilustración 122 - Zoom de la tija en el análisis de deformaciones unitarias en frenada.....	115
Ilustración 123 - Análisis de deformaciones unitarias de la tija en frenada	115
Ilustración 124 - Zoom de la tija en el análisis de Von Mises en curva	116
Ilustración 125 - Análisis Von Mises de la tija en curva	116
Ilustración 126 - Zoom de la tija en el análisis de deformaciones unitarias en curva	117
Ilustración 127 - Análisis de deformaciones unitarias de la tija en curva	117
Ilustración 128 - Zoom del chasis en el análisis de Von Mises en frenada	119
Ilustración 129 - Análisis Von Mises del chasis en frenada	119
Ilustración 130 - Zoom del chasis en el análisis de deformaciones unitarias en frenada	120
Ilustración 131 - Análisis de deformaciones unitarias del chasis en frenada	120
Ilustración 132 - Zoom del chasis en el análisis de Von Mises en curva	121
Ilustración 133 - Análisis Von Mises del chasis en curva.....	121
Ilustración 134 - Zoom del chasis en el análisis de deformaciones unitarias en curva.....	122
Ilustración 135 - Análisis de deformaciones unitarias del chasis en curva	122
Ilustración 136 - Diseño de la tija (Diseño 3.0).....	123
Ilustración 137 – Comparativa de las propiedades mecánicas de las alecciones de aluminio	124
Ilustración 138 - Código G del proceso de mecanizado de la tija	125
Ilustración 139 - Interfaz del software Mastercam durante la simulación de mecanizado de la tija	125
Ilustración 140 - Proceso de mecanizado para la fabricación de la tija	126
Ilustración 141 - Técnica de pulido mediante proceso de acenado.....	126
Ilustración 142 - Comparativa de las propiedades mecánicas de los aceros más comunes.....	127
Ilustración 143 - Conjunto separador, arandelas y tuerca de fijación de la columna de dirección	127
Ilustración 144 - Conjunto arandela y tuerca de terminación de la columna de dirección	128
Ilustración 145 - Acabado y apariencia final de la tija fabricada.....	128
Ilustración 146 - Detalle del grabado UC3Moto en la tija fabricada.....	128
Ilustración 147 - Diseño del chasis (Diseño 7.0).....	129
Ilustración 148 - Comparativa de las propiedades de los aceros estructurales.....	130
Ilustración 149 - Pipa de dirección del chasis	130
Ilustración 150 - Piezas de unión macizas mecanizadas del chasis.....	131
Ilustración 151 - Diseño de uno de los tubos del entramado que conforman el chasis	131
Ilustración 152 - Proceso de apertura del desarrollo de un tubo	132
Ilustración 153 - Plano del desarrollo del tubo escala 1:1	132
Ilustración 154 - Potro de soldadura para motocicletas personalizadas	133
Ilustración 155 - Cuerpo principal que conforma la base para el potro de soldadura propio.....	133
Ilustración 156 - Pieza auxiliar del potro de soldadura con forma de media luna	134
Ilustración 157 – Conjunto auxiliar del potro de soldadura formado por conjunto de tubos.....	134
Ilustración 158 - Diseño del potro de soldadura al completo para el chasis	135
Ilustración 159 - Diseño del potro de soldadura al completo para el subchasis	135
Ilustración 160 - Diseño del equipo UC3Moto del prototipo de motocicleta de competición....	136
Ilustración 161 - Diseño del prototipo completo	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Fases a superar en la Competición Internacional MotoStudent.....	30
Tabla 2 - Calendario de la segunda edición competición MotoStudent 2012	30
Tabla 3 - Nomenclatura para designar los neumáticos.....	65
Tabla 4 - Baremo prestaciones-peso para la comparativa de los distintos tipos de chasis	67
Tabla 5 - Parámetros relacionados con la viabilidad entre distintos tipos de chasis.....	68
Tabla 6 - Parámetros relacionados con la competición entre distintos tipos de chasis	68
Tabla 7 - Comparativa de parámetros relacionados con la viabilidad entre distintos tipos de chasis	83
Tabla 8 - Comparativa de parámetros relacionados con la competición entre distintos tipos de chasis	83
Tabla 9 - Comparativa de los resultados de los análisis MEF de los diferentes diseños de la tija .	96
Tabla 10 - Comparativa de los resultados de los análisis MEF de los diferentes diseños del chasis	110
Tabla 11 - Comparativa de resultados del análisis completo MEF de la tija propuesta (Diseño 3.0)	117
Tabla 12 - Comparativa de resultados del análisis completo MEF del chasis propuesto (Diseño 7.0)	122

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ÁMBITO Y JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este proyecto nace de la participación de la Universidad Carlos III de Madrid en la II Competición Internacional MotoStudent (*Ilustración 1*). Promovida por la fundación Moto Engineering Foundation, esta competición es un desafío entre universidades españolas, europeas y del resto del mundo, cuyo objetivo es la aplicación de los conocimientos que los estudiantes están adquiriendo en las diferentes escuelas de ingeniería. Participar en esta competición significa aprender y descubrir el mundo de la motocicleta a fondo, desde el punto de vista de la ingeniería, además de su estructura, comportamiento y funcionamiento.



Ilustración 1 - Logo de la Competición Internacional MotoStudent

La competición consiste en diseñar y fabricar el prototipo de una motocicleta de competición moto 3 (250 c.c. / 4T) que, dadas unas especificaciones, rivalizará con las motocicletas de los demás equipos universitarios en diferentes categorías. Se valorará el diseño, el proyecto industrial y se disputará una auténtica carrera de competición en unas jornadas que se llevarán a cabo en las instalaciones de la Ciudad del Motor de Aragón.

Para la participación de la Universidad Carlos II de Madrid en la segunda edición de la Competición Internacional MotoStudent se formó el equipo UC3Moto. El equipo debe adoptar la actividad de una empresa fabricante de motos de competición, para desarrollar y fabricar un prototipo bajo condiciones técnicas y económicas, cumpliendo unos plazos que en total sumarán un periodo de tres semestres. Todos los estudiantes que forman el equipo deben demostrar su capacidad de creación e innovación, de trabajar en equipo y como ingenieros.

Este proyecto tiene como fin diseñar y fabricar los prototipos de dos elementos primarios concretos, que serán propuestos para componer la motocicleta presentada por el equipo UC3Moto a la competición. Tenemos por un lado el elemento del sistema de suspensión y dirección, la tija; y por otro el conjunto del sistema estructural principal, el bastidor (chasis y subchasis).

Para cumplir este fin, se deberán modelar cada pieza propuesta y su respectivo sistema o conjunto estructural dependiente, así como determinar las restricciones de movimiento y las cargas aplicables, que más se adecuen a las situaciones que va a sufrir el elemento para realizar los diferentes análisis y simulaciones de nuestros modelos propuestos mediante los software de diseño y análisis.

Se analizarán y estudiarán a fondo tanto la normativa y el reglamento de la competición como los elementos y restricciones impuestos por la organización.

Se trabajará en equipo para coordinar la interacción de las distintas partes de la motocicleta, ya que la tija es parte indispensable en la dirección y suspensión; y el chasis es el componente principal del conjunto del sistema estructural de la motocicleta y donde quedan anclados el resto de elementos que la componen.

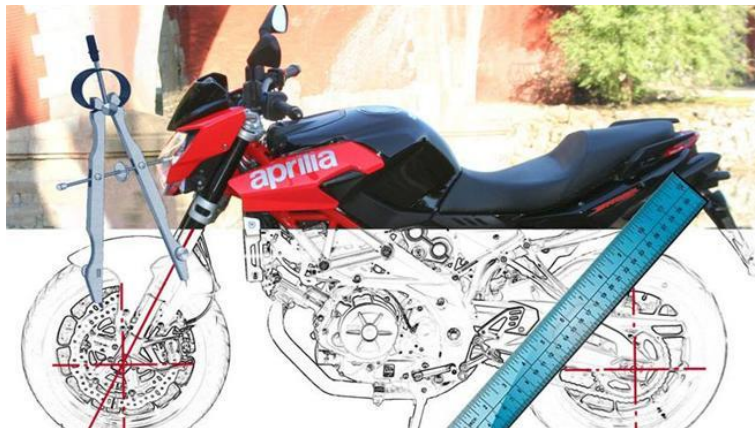


Ilustración 2 - Imagen representativa del proceso de diseño de una motocicleta

Otra de las funciones que se deben asumir como miembro del equipo UC3Moto es la participación activa en las diferentes actividades alejadas de la parte técnica, pero de igual importancia, como son: la búsqueda de esponsorización para lograr el costoso desarrollo y fabricación del prototipo, la participación y creación de diferentes ferias y eventos tanto dentro del mundo universitario (*Ilustración 3*), como del mundo del motociclismo, para dar a conocer el proyecto.

Es necesaria una gran dedicación y compromiso para participar en un proyecto de esta envergadura y una constancia que sin la pasión por el mundo del motociclismo de todas y cada una de las personas que han intervenido en mayor o menor medida en este proyecto, hubiera sido imposible.



Ilustración 3 - Equipo UC3Moto durante el evento "Semana de la Moto" con la colaboración de la Escuela PortalMotos y la Asociación Muévete por Madrid en Moto

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto es diseñar y realizar el análisis de los elementos primarios, tija y chasis, para su posterior fabricación e implantación en una motocicleta de competición. Dicha motocicleta será con la que el equipo UC3Moto, en representación de la Universidad Carlos III de Madrid, participará en la competición MotoStudent 2012.

Los elementos primarios que se tratarán en este proyecto son por un lado el elemento del sistema de suspensión y dirección, la tija, y por otro el conjunto del sistema estructural principal, el bastidor (chasis y subchasis).

Se pretende diseñar elementos estructurales de propiedades prácticamente idénticas a las que componen una motocicleta de competición de categoría moto3 (250cc/4T). El diseño de estos elementos deben aportar al conjunto en el que se implementaran, si se consideran la propuesta más adecuada, un buen comportamiento dinámico que facilite el manejo de la moto y es imprescindible que tengan una buena relación rigidez-peso. Para la creación del prototipo partimos de elementos de uso obligatorio que establece la organización para estandarizar los diseños y contamos con un presupuesto y plazos de tiempo fijados.

Para llegar al objetivo principal se llevarán a cabo los siguientes objetivos secundarios:

- Se estudiarán las distintas opciones, respecto a los elementos primarios de la tija y el chasis, existentes en la actualidad y a lo largo de la historia de la motocicleta, analizando y valorando cada una de ellas, y comparándolas entre sí. Este arduo proceso de información, investigación y recopilación de información permitirán realizar la elección más acertada.
- Se deberá establecer la geometría y material en el cual se fabricarán la tija y el chasis.
- Se realizarán diferentes pre-diseños que serán valorados mediante herramientas de elementos finitos, en busca del diseño que mejor se ajuste a las necesidades. En nuestro caso, los software empleados serán *Pro/Engineer* y *SolidWorks*, tanto para implementar la geometría ideada 3D como para efectuar el mallado adecuado y los análisis por elementos finitos respectivamente.

Otros parámetros a tener en cuenta para el desarrollo final del prototipo serán su peso, su estética, su robustez o algo tan importante como el nivel de complejidad en el momento de la fabricación.

1.3 FASES DEL PROYECTO

Para alcanzar los objetivos del proyecto, comentados en el apartado anterior “1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO”, se plantea el siguiente cronograma de trabajo:

- Recopilación de información y datos técnicos sobre los componentes a diseñar.
- Creación de grupos de trabajo para las distintas áreas que componen la motocicleta: chasis, basculante, aerodinámica, electricidad, sistema inyección, etc.
- Trabajo en equipo de los grupos de cada área para obtener los puntos de interface y anclaje que serán comunes.
- Establecer los criterios de selección que determinaran la elección del diseño más adecuado.
- Realizar comparativas según los criterios establecidos de los diferentes diseños.
- Modelado de los diferentes diseños propuestos, tanto de la tija como del chasis, mediante el software de diseño Pro-Engineer, ya que es el programa oficial para la competición y son aportadas licencias académicas gratuitas por la organización.
- Simulación por el método de los elementos finitos de los distintos modelos propuestos mediante el software SolidWorks, ya que se disponían de modelos y análisis en este formato de la anterior edición con los que cotejar los resultados obtenidos sin problemas de compatibilidad.
- Análisis de resultados y selección de la propuesta de diseño final.
- Se pondrán en común todas las propuestas de diseño finales de cada uno de los diseñadores del equipo y se seleccionaran los diseños definitivos en cada uno de los departamentos, para formar y fabricar el prototipo de motocicleta de competición con la que participar en el desafío.

1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

Este documento se organiza en diez capítulos, que se enumeran y desarrollan a continuación:

1- *Introducción:*

En este primer capítulo se presentará el documento describiendo el marco en el que se sitúa este proyecto.

2- *Competición Internacional MotoStudent:*

Determina los antecedentes del proyecto con los resultados obtenidos en la anterior edición y el punto de partida de este año explicando el reglamento para conocer las limitaciones.

3- *La motocicleta como elemento mecánico:*

Explicación histórica y teórica de los diferentes tipos y de las partes más singulares de una motocicleta, además de su comportamiento.

4- *Metodología:*

Explica la planificación seguida en este proyecto y los procedimientos que se van a usar para llegar a la propuesta final del conjunto.

5- *Diseño de los elementos primarios: tija y chasis:*

Determina el diseño seleccionado como propuesta, tanto de la tija como del chasis, cumpliendo con los requisitos necesarios.

6- *Simulación de los elementos primarios: tija y chasis:*

Se analiza y estudia a fondo el comportamiento de los diseños seleccionados de ambos elementos estructurales.

7- *Proceso de fabricación de los prototipos seleccionados:*

Expone el proceso seguido para realizar la fabricación de todos los componentes.

8- *Conclusión y trabajos futuros:*

Cierra el trabajo y se exponen las futuras líneas de trabajo.

9- *Presupuesto:*

Muestra el presupuesto del proyecto, determinando las horas dedicadas a cada tarea.

10- *Bibliografía:*

Recoge los libros, documentos y páginas web empleadas para la realización del proyecto.

2. COMPETICIÓN INTERNACIONAL MOTOSTUDENT

2.1 ASPECTOS GENERALES

La competición MotoStudent promovida por la fundación Moto Engineering Foundation (MEF) es un desafío entre equipos universitarios españoles y europeos. Consiste en diseñar y desarrollar un prototipo de motocicleta de competición de pequeña cilindrada (250 c.c. / 4T) que competirá, tras las evaluaciones pertinentes, en unas jornadas que se llevarán a cabo en las instalaciones de la Ciudad del Motor de Aragón (Motorland).



Ilustración 4 - Aspecto de la Ciudad del Motor de Aragón durante la primera edición de la Competición Internacional MotoStudent

El equipo universitario debe integrar las funciones de una empresa fabricante de motocicletas de competición, para desarrollar y fabricar un prototipo bajo unos condicionantes técnicos y económicos dados. La competición en sí misma es un reto para los estudiantes, donde estos han de demostrar y probar su capacidad de creación e innovación y la habilidad de aplicar directamente sus capacidades como ingenieros en comparación con los otros equipos universitarios.

MotoStudent es una competición de ingeniería por lo que se juzga y premia, no solo la carrera de velocidad, sino también el proyecto industrial como empresa, el diseño y la innovación tecnológica.

El proyecto industrial se realiza bajo las premisas de fabricar una motocicleta de competición con una tirada de 500 unidades al año y un coste de fabricación máximo de 4.500 €. El valorado como mejor proyecto industrial recibirá un premio de 6.000 €. Respecto al diseño del prototipo se entregarán dos premios de 3.000 €, cada uno, a los prototipos valorados con el mejor diseño y la mejor innovación tecnológica.

Las motos que hayan superado las pruebas de seguridad, participarán en una carrera de velocidad en circuito. La carrera se llevará a cabo sobre una longitud mínima de 35 km, la organización determinará la duración y el número de vueltas de la prueba. Se entregarán premios a las tres primeras motos clasificadas de 6.000 €, 3.000 € y 1.500 € respectivamente en función del orden de llegada.

2.2 ANTECEDENTES: I EDICIÓN MOTOSTUDENT (2010/2011)

La primera edición de MotoStudent (2010/2011) consistió en diseñar y fabricar un prototipo de motocicleta de competición de pequeña cilindrada (125 c.c. / 2T). Después de realizar un estudio de los modelos y tipos de motocicletas existentes hasta la fecha y de acuerdo con la normativa de la competición, el equipo comenzó a diseñar su prototipo.

Se creó un modelo virtual diseñando y ensamblando todos los componentes y realizando simulaciones dinámicas con las que el equipo pudo solventar errores de diseño. Cuando el modelo virtual se completó, todos los componentes se fabricaron y montaron.



Ilustración 5 – Integrantes del equipo Moto-MaqLab-Uc3m

La motocicleta creada por el equipo Moto-MaqLab-Uc3m de la Universidad Carlos III de Madrid fue premiada por su diseño como mejor “innovación tecnológica” en la primera edición de MotoStudent gracias a su sistema de suspensión delantero no convencional, como se puede observar en la *Ilustración 6*, empleando un cuadrilátero articulado con suspensión progresiva en lugar de una horquilla telescópica convencional. Además cuenta con estructura únicamente multitubular tanto en bastidor como en suspensiones.

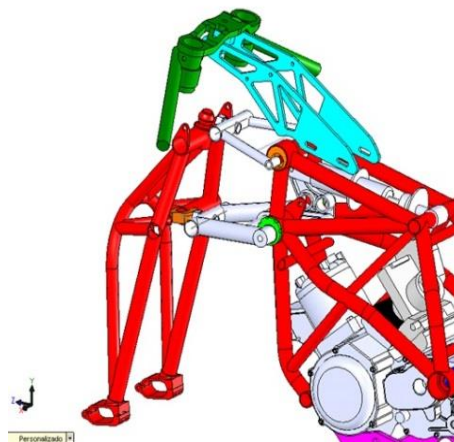


Ilustración 6 – Diseño del Equipo Moto-MaqLab-Uc3m premiado como mejor innovación tecnológica en la primera edición de la Competición Internacional MotoStudent

La moto no corrió sobre la pista debido a problemas antes de la prueba final, pero gracias a la prestación de la moto y el proyecto industrial se obtuvo la décimo octava posición en la clasificación general.



Ilustración 7 - Equipo Moto-Maqlab-Uc3m tras obtener el premio a “mejor innovación tecnológica”

2.3 II EDICIÓN MOTOSTUDENT (2012/2013)

Tras el éxito de la anterior convocatoria se crea UC3Moto, el nuevo equipo que representa a la Universidad Carlos III de Madrid en la II Competición Internacional Motostudent. En esta convocatoria se persigue diseñar y desarrollar un prototipo de motocicleta de competición de pequeña cilindrada (250 cc/ 4T).

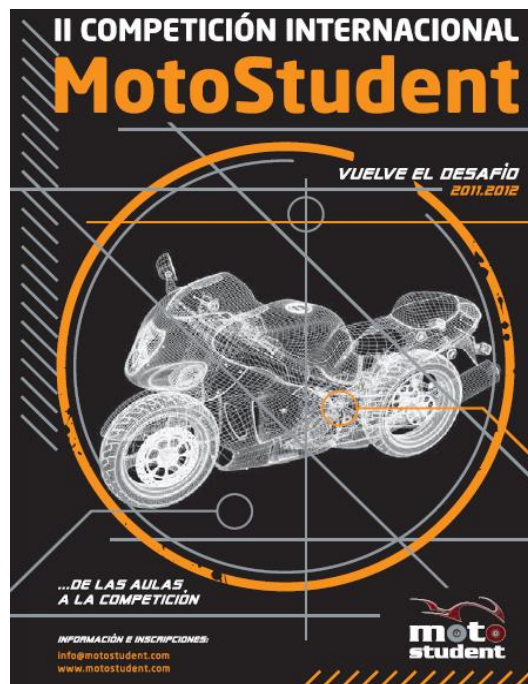


Ilustración 8 - Tríptico de la II Competición Internacional MotoStudent

Las motos son juzgadas en unas series de eventos tanto estáticos como dinámicos, que incluyen: exposición oral y de “stand”, inspección técnica, demostración dinámica, etc.

Para que las motocicletas y proyectos industriales entren en competición deben cumplir los requisitos previos de resistencia, seguridad y funcionamiento indicados en el reglamento técnico.

Los equipos, que superan estos requisitos, compiten en la fase MS1 en al cual se evalúa el proyecto bajo el punto de vista industrial con especial atención a aspectos estéticos, técnicos y económicos.

Las motocicletas que superan estas pruebas participan en la fase de pruebas dinámicas denominada MS2. Para la valoración final se desarrollará una carrera en la que los participantes serán pilotos federados. Las diferentes fases que deben superar los equipos participantes quedan detalladas en la *Tabla 1*.

	Excluyente	Puntuable
Requisitos mínimos	Si	No
Fase MS1 (Proyecto)	Si	Si
Fase MS2 (Seguridad)	Si	No
Fase MS2 (Pruebas dinámicas)	Si	Si
Fase MS2 (Carrera)	Si	Si

Tabla 1 - Fases a superar en la Competición Internacional MotoStudent

El calendario de la segunda edición de la competición MotoStudent (*Tabla 2*) tiene una serie de fechas claves que todos los equipos participantes deben cumplir para poder participar en la evaluación final de la competición, ya que se trata de desarrollar no solo un prototipo sino un proyecto de Ingeniería.

CALENDARIO	2011												2012											
	M	A	M	J	J	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O					
Inscripciones																								
Justificación sponsors																								
Cierre de diseño																								
Semana de pruebas																								

Tabla 2 - Calendario de la segunda edición competición MotoStudent 2012

2.4 DATOS DE PARTIDA

Con el objetivo de estandarizar y acotar el amplio abanico de posibilidades de construcción de un prototipo se establece el reglamento que deben cumplir todos los equipos. De este modo todos los proyectos se ajustarán a una línea de trabajo orientada y común, haciendo posible una competencia objetiva entre los participantes.

2.4.1 REGLAMENTO TÉCNICO

2.4.1.1 REQUISITOS GENERALES

Dimensiones:

- El ángulo mínimo de inclinación lateral de la motocicleta sin que ningún elemento de la misma (exceptuando los neumáticos) toque el pavimento debe ser 50°. Dicha medición se realizara con la motocicleta descargada (sin piloto) pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento.
- La distancia libre al pavimento con la motocicleta en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100mm en cualquier situación de compresión de suspensiones y reglajes de geometrías.
- Limite posterior: Ningún elemento de la motocicleta podrá rebasar la línea tangente vertical trazada a la circunferencia exterior del neumático trasero.
- Los neumáticos deberán tener una tolerancia mínima de 15 mm con cualquier elemento de la motocicleta en toda posición de la misma y reglaje de geometría.

Pesos:

- El peso mínimo del conjunto de la motocicleta en orden de marcha incluido deposito, gasolina y líquidos no deberá ser inferior a 95 kg en cualquier momento de las pruebas. El peso se podrá verificar tanto al inicio, durante y final de la competición. Está permitido lastrar el vehículo para alcanzar el peso mínimo.

2.4.1.2 CICLÍSTICA

Bastidor:

- El diseño, el proceso y el material utilizado para la fabricación del bastidor es libre, excepto en el uso del titanio o aleaciones para la fabricación. El bastidor definitivo a presentar en la competición deberá haber superado el proceso de homologación por parte de la organización.
- No se permite el uso de un chasis comercial ni tan siquiera una unidad modificada. Deberá tratarse de un chasis prototipo de fabricación propia.

Suspensión delantera:

- En el caso de diseño de suspensión en base a tipo de horquilla se deberá utilizar la proporcionada por la organización. La horquilla proporcionada por la organización no puede ser modificada estructuralmente. Está permitido el reglaje de la horquilla solo en base a cambio de muelles y fluidos hidráulicos.
- Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en los ejes de rotación de los componentes del sistema de suspensión delantera.
- Si se define otro tipo de suspensión no podrán utilizarse sistemas activos o semiactivos y/o controles electrónicos de cualquier parámetro de la suspensión.

Dirección:

- En todo el recorrido de giro de la dirección no deberá existir ningún elemento que interfiera en una tolerancia de 30 mm entorno a los puños del manillar y accionamientos. El objetivo es evitar daños en las manos y dedos del piloto en caso de caída.
- El ángulo mínimo de giro de la dirección deberá ser de 15° medidos a cada lado del eje longitudinal de la motocicleta.
- El ángulo de giro de la dirección deberá estar limitado con un tope a cada lado.

Freno delantero:

- Deberá utilizarse el conjunto de freno delantero (bomba, latiguillos y pinza) proporcionado por la organización.
- Se permite la elección del tipo de pastillas y disco de freno. Se permite la sustitución de los latiguillos de freno por otros de diferente longitud.
- La situación del accionamiento de la bomba de freno y la modificación de la leva de accionamiento es libre con la restricción de que, si su ubicación fuese el manillar, su longitud no podrá ser superior a 200 mm y su extremo deberá ser una esfera de un diámetro mínimo de 18 mm. La esfera podría estar rectificadas con un plano de una anchura mínima de 14 mm, los bordes del plano han de ser redondeados.

Estribas:

- Como requisito deberán tener protegidos los extremos con un tope de nilón de un radio mínimo de 8 mm.
- Deberán disponer de protectores laterales para evitar que la bota del piloto pueda interferir con elementos móviles como cadena o neumático trasero.

Manillar:

- La anchura del manillar medida entre los extremos de los puños no podrá ser inferior a 450mm.
- Las puntas del manillar deberán ir protegidas con un tope de nilón redondeado de un radio mínimo de 8 mm.
- No está permitido el uso la de manillares o semimanillares contruidos en aleación ligera.
- Los soportes del manillar o semimanillares deberán estar diseñados con el fin de minimizar el riesgo de fractura en caso de caída. Se deberán utilizar radios mínimos de 2 mm en el anclaje para facilitar deformaciones sin fractura.

Llantas y neumáticos:

- La organización suministrará las llantas y neumáticos y se prohíbe su modificación.
- Sus dimensiones serán:

Delanteras 2.50"x 17"

Traseras 3.50" x 17"

- Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en la fabricación de los ejes de ruedas.
- Está permitido el uso de protectores de nilón en los extremos del eje para posibles caídas. Estos protectores deberán ser redondeados con un diámetro igual o superior al del eje utilizado.
- Los ejes de rueda no podrán sobresalir de su alojamiento en sus extremos más de 30mm. No se consideran en esta medida posibles protectores de nilón.

Motor:

- Deberá utilizarse el motor proporcionado por la organización. El motor se entregará sellado y se prohíbe totalmente su manipulación interna.
- Motor monocilíndrico de 250 cm³ 4 T tiempos con refrigeración líquida.

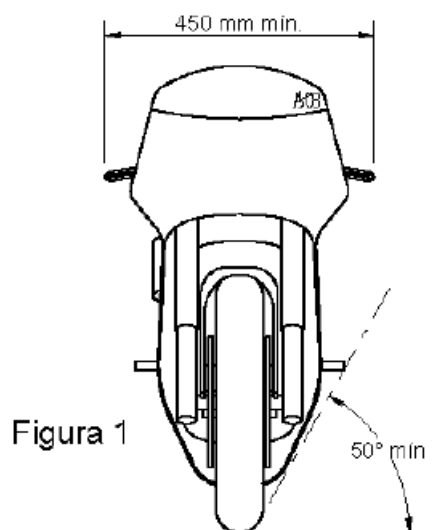


Figura 1

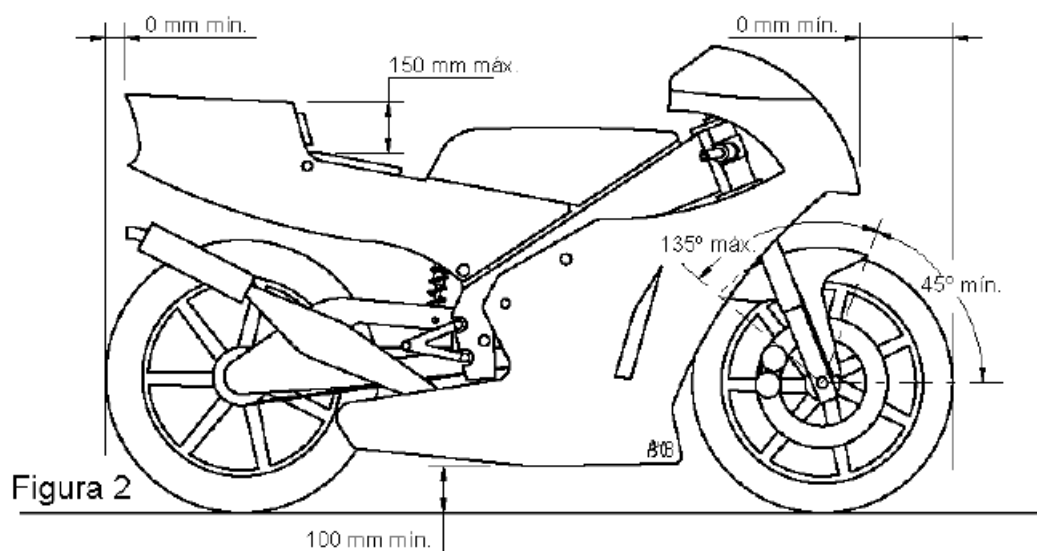


Figura 2

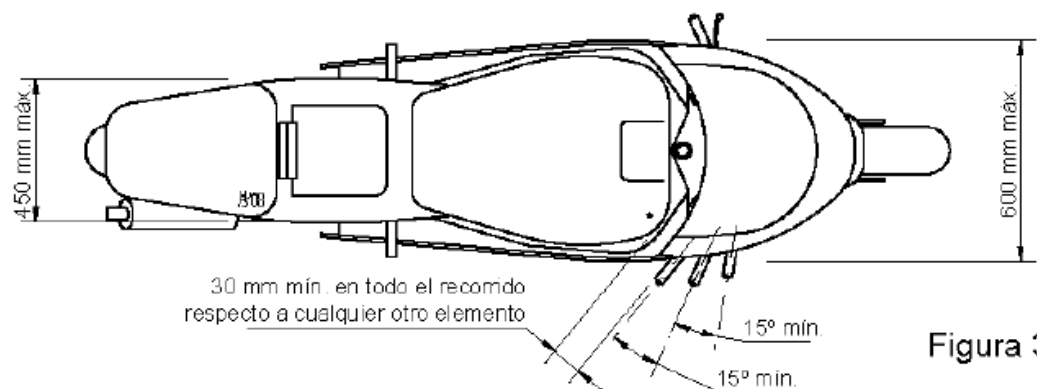


Figura 3

Ilustración 9 - Anexo de los planos incluidos en el reglamento técnico de la competición [2]

2.4.2 PRUEBAS DE HOMOLOGACIÓN

Homologación del chasis:

- La organización se reserva el derecho de verificar el chasis mediante una prueba previa a la competición. Se tendrá que presentar, previo a la competición, un estudio teórico de cargas sobre el chasis.
- La prueba de homologación se realizará en un potro de ensayo (*Ilustración 10*). Se aplicarán dos cargas, una carga horizontal progresiva sobre la pipa de la dirección de 275 kg en dirección longitudinal a la motocicleta (dirección de marcha) y una vertical de 200 kg sobre el soporte trasero (subchasis). Estas cargas se aplicarán sucesivamente 5 veces consecutivas y se verificará que la medida es repetitiva en cuanto a deformación, con un error entre medidas inferior al 10%, y que no aparece ningún tipo de fallo o fisura ni en los componentes ni en los elementos de unión. En la página web de la organización [13], se obtiene el esquema del banco y los componentes suplementarios que debe cada equipo aportar a la organización para estas pruebas.



Ilustración 10 - Pruebas de homologación del chasis previas a la carrera

Verificación de cotas generales:

- Se medirán y supervisarán las cotas generales de diseño estipuladas en este reglamento como se puede ver en la *Ilustración 11*.



Ilustración 11 - Pruebas de verificación de cotas previas a la carrera

Verificación de pesos:

- Se acondicionará un centro de verificaciones y controles donde los participantes podrán verificar su vehículo.
- Se podrá solicitar por la organización controles de pesos en cualquier fase de la competición.
- Los controles se realizarán sobre el vehículo en orden de marcha con todos sus sistemas y componentes además de los líquidos necesarios para su uso.
- Inicialmente se realizará una calibración del sistema de medida.
- Se realizarán tres pesadas del vehículo y la media de los tres resultados será el valor asignado.
- La tolerancia en la medida es 1 kg por debajo del mínimo.

Verificación de ruidos:

- El prototipo será analizado en un espacio abierto donde no existan obstáculos en un radio de 10 m. El ruido ambiente no podrá ser superior a 90 dB/A en un radio de 10 m. La medida se realizará a 50 cm del extremo del tubo de escape y en un ángulo de 45°. La medida límite será de 115 dB/A. La verificación se realizará a un rango fijo de revoluciones del motor. 7000 min-1.

Verificación del cumplimiento de la normativa de seguridad:

- Se realizará una verificación completa de cada uno de los puntos referentes a seguridad de cada uno de los apartados descritos en este reglamento. Por encima de cualquier criterio técnico a nivel de prestaciones o construcción del vehículo deberá prevalecer, como prioritario, la seguridad de los participantes. Para ello, todos los prototipos deberán cumplir los requisitos de seguridad en cualquier fase de la competición. De manera especial se hace hincapié en la verificación del vehículo tras haber sufrido un accidente con el fin de garantizar la seguridad del mismo.

2.4.3 COMPETICIÓN: LA CARRERA

Las motos que hayan superado las pruebas de homologación, participarán en una carrera de velocidad en circuito. La parrilla se establecerá según la clasificación obtenida según los requisitos mínimos de promedio de las 7 vueltas seguidas realizadas en las tandas de evaluación (*Ilustración 12*).

Las motos se pilotarán por los pilotos presentados por los equipos y aprobados por la organización. La carrera se llevará a cabo sobre una longitud mínima de 35 km. La organización establecerá puntualmente el número de vueltas y duración de la carrera.

Se otorgarán premios a las tres primeras motos clasificadas:

- Al equipo de la primera moto clasificada se le entregará un premio de 6000 € y trofeo.
- Al equipo clasificado en segundo lugar se le entregará un premio de 3000€ y trofeo.
- Al tercer equipo clasificado se le otorgará un premio de 1500€ y trofeo.
- Al resto de equipos participantes que hayan finalizado la carrera recibirán un trofeo recordatorio de su participación en la prueba.



Ilustración 12 – Clasificación de orden de salida para la carrera de las motocicletas

3. LA MOTOCICLETA COMO ELEMENTO MECÁNICO

3.1 HISTORIA DE LA MOTOCICLETA

La historia de la motocicleta siempre estará vinculada con el desarrollo de las primeras bicicletas. La bicicleta ha sido la base para las primeras motocicletas y ayudó a darle forma a la historia de estas máquinas motorizadas. Los historiadores se disputan todavía cuál es el padre de esta primera máquina.

En el año 1868, un visionario americano llamado Sylvester Howard Roper, se cuestionó qué pasaría si a una bicicleta le adaptara un motor a vapor (*Ilustración 13*). Éste fabricó un motor de dos cilindros utilizando el carbón como combustible, lo incrustó en el cuadro de una bicicleta y creó lo que hoy podríamos denominar como la primera motocicleta.



Ilustración 13 - Bicicleta con motor a vapor de Sylvester Howard Roper (1868)

Algunos expertos insisten que una máquina de esas características no puede ser tomada como una verdadera motocicleta moderna. Muchos sugieren que la primera motocicleta real fue inventada por los alemanes Wilhelm Maybach y Gottlieb Daimler, que construyeron en 1885 una motocicleta de cuadro y ruedas de madera (*Ilustración 14*), propulsada por un motor de combustión interna, el cual fue inventado por el ingeniero Nikolaus August Otto, quien era todo un experto en diseñar y construir motores. Este motor desarrollaba 0,5 caballos de fuerza y permitía una velocidad de 18 Kilómetros por hora. Debido al motor de combustión interna algunos historiadores consideran a esta, como la primera motocicleta de la historia.

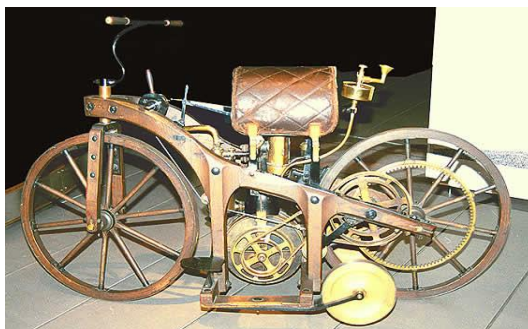


Ilustración 14 – Primera motocicleta de madera y motor de combustión interna (1885)

En 1894 Hildebrand y Wolfmüller presentan en Múnich la primera motocicleta fabricada en serie y con claros fines comerciales. Las motocicletas de Hildebrand y Wolfmüller se mantuvieron en producción hasta 1897. A pesar de todos estos inventos, no se generó en la sociedad un asombro por las motocicletas.

Recién en 1897 se toma en serio la motocicleta, al aparecer en el mercado la máquina de los hermanos Eugene y Michel Werner. Estos dos periodistas de origen ruso montaron un pequeño motor en una bicicleta. Al principio lo colocaron en forma horizontal encima de la rueda trasera, luego delante del manillar, con una correa de cuero que lo unía a la rueda delantera (*Ilustración 15*). El éxito no se hizo esperar y ya en 1898 se comenzó a fabricar. La motocicleta, marca presentada por los hermanos Werner, entró muy pronto en el lenguaje corriente para referirse a todos los bicis equipados con motor.



Ilustración 15 - Motocicleta de los hermanos Werner (1897)

En 1902 apareció en Francia el Scooter o ciclomotor con el nombre de Auto sillón. Se trata de una moto unida con un salpicadero de protección, de pequeñas ruedas y con un cuadro abierto que permite al piloto viajar sentado, fue inventado por Georges Gauthier y fabricado en 1914. Este tipo de vehículo se desarrolló a partir de 1919 y tuvo un gran éxito con la Vespa italiana, a partir de 1946. La Vespa es el Scooter más conocido, y fue diseñada por Corradino d'Ascanio. La Lambretta, también de Italia, fue la rival más importante de Vespa.

El Scooter tuvo gran popularidad entre los jóvenes. Desde su creación ha aparecido una gama amplísima de estos vehículos baratos, ligeros y de fácil manejo, cuyas características principales son las ruedas pequeñas y el cuadro abierto.

3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE MOTOCICLETAS

Se va a tratar de clasificar las motocicletas agrupadas en distintos segmentos, aunque debido a la diversidad siempre hay algunas que están entre un tipo y otro. A grandes rasgos se puede distinguir principalmente entre las motocicletas de carretera y las de campo.

Las motocicletas de carretera:

Son las diseñadas para circular principalmente por vías asfaltadas y por ciudad. Se puede diferenciar en varias clases como son Deportivas, Turismo, Naked, Custom, y Scooter.

- *Deportivas*

También denominadas Sport o Supersport, son motos cuyo uso principal es la carretera, tienen altas prestaciones y componentes de buena calidad con un peso ligero. Utilizan normalmente motores que pueden tener potencias de hasta 160 CV, consiguiendo alcanzar altas velocidades de incluso 300 km/h.

Disponen de carenado completo, que sirve para proteger del viento a esas altas velocidades (*Ilustración 16*), suelen llevar neumáticos de carretera de gran anchura, sobre todo las de gran cilindrada, para permitir un gran agarre en las curvas. La posición de conducción en este tipo de motos es agachada y ligeramente forzada, obligando a echar peso en los antebrazos.

Dentro de este segmento se podría destacar otro pequeño grupo como son las superdeportivas, que son motos deportivas extremas, con componentes más aligerados, casi de carreras, de hecho algunas corren con ligeras modificaciones en carreras de competición. Suelen disponer de asiento únicamente para el piloto, y si disponen de asiento para el pasajero suele ir camuflado por una tapa, simulando a las motocicletas de competición.



Ilustración 16 – Motocicleta Deportiva (Aprilia RSV Mille R 2002)

- *Turismo*

Son motocicletas destinadas para realizar largos recorridos por carretera. Con posiciones de conducción muy cómodas, carenados muy amplios y con la cúpula de mayores dimensiones. Son motos con unas prestaciones inferiores a las deportivas debido a una configuración con mayor peso.

Dentro de este grupo se podría distinguir otro, denominado Gran Turismo, son motos destinadas a recorridos largos, pero con motores de mayor cilindrada (hasta 1800 c.c.), y con un peso más elevado (hasta los 375 kg). Son mucho más difíciles de maniobrar en parado, hecho por el cual alguna incorpora marcha atrás. Disponen de respaldo para el pasajero, de grandes maletas para guardar equipaje, y tienen las cúpulas muy elevadas. Algunas llevan hasta radio o apoyabrazos para el pasajero como en la *Ilustración 17*.



Ilustración 17 - Motocicleta Gran Turismo (Honda Gold Wing 1800)

- *Naked*

Las naked son motocicletas desprovistas de carenado (*Ilustración 18*). Suele ser una moto más económica, de mantenimiento y de precio, con mayor facilidad de manejo en ciudad que las anteriores, más adecuada para un doble uso ciudad carretera. Tienen el inconveniente de que no disponen de protección frente al aire para el conductor. Sin embargo, en ocasiones pueden llevar un semicarenado, que es un carenado pequeño que protege únicamente el frente y la parte superior de los laterales. Otras veces pueden disponer simplemente de una cúpula sobre el faro.



Ilustración 18 -Motocicleta Naked (Yamaha XJ6 naked 2009)

- *Custom*

Motocicletas para circular con tranquilidad, con un estilo muy particular. El fabricante por excelencia mejor identificado en este grupo es la Harley Davidson. Suelen incorporar muchas piezas metálicas y cromadas (guardabarros, llantas, tapas de motor), tienen manillares altos con la horquilla delantera muy inclinada, sillines a baja altura, reposapiés adelantados, es decir, posiciones muy cómodas pero sin protección frente el aire, ya que no disponen de carenado alguno (*Ilustración 19*). Los motores de estas motos son de gran cilindrada pero con la potencia rebajada para que se disponga de par a bajas revoluciones.



Ilustración 19 - Moto Custom (Suzuki Marauder VZ1600 2007)

- *Scooter*

Son motos destinadas principalmente para uso urbano, con una gran comodidad y manejabilidad. Tiene transmisiones automáticas sin marchas, por variador. Las ruedas que utilizan suelen ser de pequeño diámetro. Se trata de una clase de motocicleta con carrocería autoportante, hoy en día ya disponen de chasis tubulares, abiertos por la parte superior que permiten montarse fácilmente al piloto, que alojan al motor junto a la rueda trasera, y que soportan las piezas de plástico que le dan esa estética tan característica, con un escudo delantero que protege las extremidades inferiores, como podemos ver en el modelo Twister de la *Ilustración 20*. Durante mucho tiempo la Vespa ha sido la más identificada en este grupo, aunque hoy por hoy hay una gran diversidad de modelos de este tipo.



Ilustración 20 - Motocicleta Scooter (Vikers Twister 125 2009)

Las motocicletas de campo:

Son motos destinadas al uso rural, fuera de carretera (off road). Disponen de suspensiones de gran recorrido, llantas de radios y neumáticos de tacos. Se puede distinguir entre motos de Cross, de Enduro y de Trial.

- Cross

También denominadas Motocross, son motos muy ligeras, y no suelen ser matriculables, ya que no disponen de iluminación, ni de retrovisores (*Ilustración 21*). Su desarrollo es pequeño, y tienen los neumáticos con tacos de goma muy separados para aportarles un buen agarre en tierra. Las suspensiones al ser de gran recorrido permiten realizar grandes saltos. Tienen motores de dos tiempos de cilindradas bajas (hasta 350 c.c.) o de cuatro tiempos de cilindradas más altas (hasta 500 c.c.).



Ilustración 21 - Motocicleta Cross (KTM SX 400)

- Enduro

También denominadas “raid”, son motos similares a las de cross, pero en este caso pueden ser matriculadas (*Ilustración 22*). Disponen de un depósito de combustible mayor que las de cross, desarrollos superiores y generalmente motores de cuatro tiempos de mayor cilindrada. Tienen un centro de gravedad elevado, debido a las suspensiones altas que provocan que el motor este colocado en una posición elevada, por este motivo permiten una gran autodireccionabilidad ante las desviaciones en el camino por piedras.



Ilustración 22 - Motocicleta Enduro (Suzuki RM 250 E)

- *Trail*

Las motocicletas de trail, también llamadas motocicletas todoterreno (*Ilustración 23*), son motos que tienen un uso mixto de campo y carretera, son polivalentes aunque tienen el centro de gravedad ligeramente alto y son un poco pesadas. Tienen los depósitos de gasolina con gran capacidad, y disponen de protecciones para el viento. Existen distintos tipos según vayan a estar orientadas a campo o a carretera. Dentro de este grupo también se podría diferenciar entre las de gran cilindrada y tamaño (1000 c.c.), y las de menor cilindrada (600 c.c.). Como se ha podido ver, se distingue entre diversos tipos de motos, según su utilización y su estética, y en una primera clasificación se agrupan en motocicletas de carretera, de campo y de trail.



Ilustración 23 - Motocicleta Trail (Guzzi Stelvio 1200 NTX 8V)

3.3 PARTES QUE COMPONEN UNA MOTOCICLETA

Las motos se componen de diversas y distinguidas partes. En este apartado, nos ocuparemos de diferenciar cada una de las partes principales de una motocicleta.

Ruedas y Neumáticos

Una motocicleta dispone de dos ruedas. La rueda delantera es la directriz, mientras que la trasera es la rueda motriz. Las ruedas están formadas por la llanta y el neumático (*Ilustración 24*), y son las responsables del contacto entre la motocicleta y el asfalto. La llanta es la parte rígida de la rueda que se une al sistema de suspensión de modo fijo. Los neumáticos son los responsables de la transferencia de los esfuerzos moto-suelo. Soportarán esfuerzos tanto longitudinales como transversales según las diferentes maniobras.



Ilustración 24 - Llantas y neumáticos de una motocicleta de competición

Suspensión delantera

Existen diferentes sistemas de suspensión aunque el más utilizado es el denominado horquilla telescópica. Esta horquilla está formada por dos brazos que unen la pipa de dirección con la rueda. Estas uniones se dan respectivamente en la tija y en el eje de la rueda. Cada uno de estos brazos lo forman dos tubos de diferentes diámetros tal que, el de menor diámetro llamado barra se introduce en el otro llamado botella pudiendo variar así, la distancia entre los elementos unidos. El mecanismo de suspensión más común, consiste en un muelle en el interior de cada brazo que hará que se tienda al máximo estiramiento después de cada compresión. Para minimizar las oscilaciones propias de un muelle, se introduce aceite hidráulico en la parte inferior a modo de amortiguador. En la *Ilustración 25* podemos ver la horquilla de función independiente de la marca Showa orientada a la competición e incluida por primera vez en una motocicleta de cross de producción en serie en la Kawasaki KX 250F 2011. La horquilla de función independiente separa el trabajo de amortiguación del de absorción de impactos: el tubo izquierdo de la horquilla tiene sistema de suspensión hidráulico y el tubo derecho de muelle. Esta configuración ofrece un rendimiento de la amortiguación suave a la vez que firme, una combinación difícil de conseguir con una horquilla convencional. En función de la disposición de estos elementos diremos que la horquilla es convencional o invertida. En la convencional, las barras van sujetas a las tijas y las botellas al eje.



Ilustración 25 – Corte interior de la horquilla de función independiente (Showa)

Dirección

El sistema de dirección utilizado en la totalidad de las motocicletas del campeonato del mundo de velocidad está compuesto por dos tijas de dirección que tienen alojados sendos rodamientos, permitiendo movimiento relativo entre la horquilla delantera (botellas de suspensión y tijas) y la pipa de la dirección. Para poder aplicar un par de giro se acoplan a las botellas de suspensión unos semimanillares. Los semimanillares no son más que dos piezas tubulares (una para cada lado, derecho e izquierdo) fabricadas normalmente en aluminio, donde se encuentran acopladas las manetas de freno delantero y embrague, según el lado y los puños donde se agarra el piloto (*Ilustración 26*). Este sistema de dirección es válido cuando utilizamos como suspensión delantera una horquilla telescópica.



Ilustración 26 - Sistema de dirección modelado mediante software de CAD

Chasis y Subchasis

El chasis es el cuerpo principal de la motocicleta y donde el piloto irá ubicado así como el motor (*Ilustración 27*). Su estructura general, independientemente del tipo, consta de una zona de anclaje de la suspensión delantera denominada pipa de dirección, situándose en la parte más adelantada y alta del chasis. El otro punto de anclaje es el eje del basculante, que debe combinarse con un soporte para el amortiguador trasero. Donde existe la variedad de chasis es en la parte que une estas dos zonas, pudiendo ser tanto tubos, chapas, vigas, etc. El subchasis es la estructura que se encuentra bajo el colín, donde se ubica el alojamiento para el piloto. Se trata de un elemento de escasa importancia a la hora de diseñar una motocicleta, lo único que hay que conseguir es que soporte el peso del piloto.



Ilustración 27 - Conjunto chasis - subchasis mecanizado en aluminio para pitbike

Motor

Es el encargado de propulsar la motocicleta. Suelen ser de combustión interna (que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible al arder dentro de una cámara de combustión) de dos o cuatro tiempos (*Ilustración 28*). Actualmente se presentan en el mercado motocicletas que montan motores eléctricos. Transmite la potencia a la rueda trasera mediante el sistema de transmisión.



Ilustración 28 - Motor monocilíndrico 4 tiempos y 250 c.c. (Honda CRF 250 L)

Transmisión

Por un lado tenemos, la transmisión primaria que es el responsable de la transmisión del movimiento desde el cigüeñal hasta el embrague (permite transmitir la energía mecánica del motor, y desconectar el cigüeñal y el cambio a voluntad del conductor). El método más común es mediante diferentes relaciones de engranajes (caja de cambios) de tal forma que la misma velocidad de giro del cigüeñal puede convertirse en distintas velocidades de giro en las ruedas. Y por otro lado, la transmisión secundaria es la encargada de transmitir el movimiento desde la salida de la caja de cambios hasta la rueda trasera. La forma más habitual de transmitir este par es mediante cadena, aunque también es usada la transmisión mediante correa o incluso la transmisión tipo cardan.

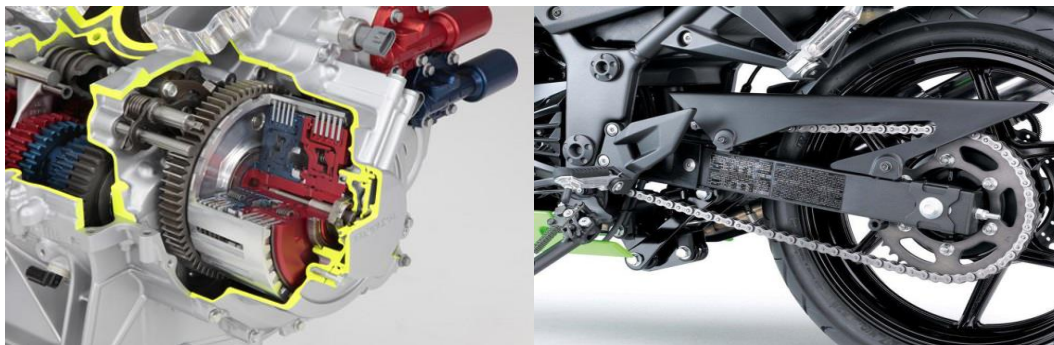


Ilustración 29 - Sistema de transmisión primario y secundario motocicleta de competición.

Escape

El sistema de escape es el encargado de conducir los gases de escape procedentes de la cámara de combustión hacia el exterior. Los tubos de escape de competición consiguen diferentes prestaciones variando la longitud de tubo de escape y su anchura, haciendo así que los gases de escape tengan una salida rápida al exterior o tarden más. Todos los escapes incorporan una parte final llamada silenciador. El silenciador, tiene como misión reducir el ruido que llega al exterior (*Ilustración 30*),



Ilustración 30 – Silenciador, componente del sistema de escape.

Basculante y Suspensión Trasera

La función del basculante es la sujeción de la rueda trasera permitiéndola un movimiento circular alrededor de un eje.

La suspensión trasera une el chasis con el basculante, y su principal finalidad es la de mantener la rueda trasera en el suelo, para poder aplicar tanto el par motor, como el par de frenada. El sistema más utilizado (monoamortiguador) consta de un único elemento resorte-amortiguador conectado entre el chasis y el basculante. Se encuentra formado por el cuerpo y el vástago. El cuerpo realiza una función parecida a las de las botellas en la suspensión delantera. También se ha extendido el uso de bieletas para la suspensión trasera, como podemos ver en la *Ilustración 31*, con las ventajas que proporciona la desmultiplicación de recorrido con pequeñas variaciones en estas.

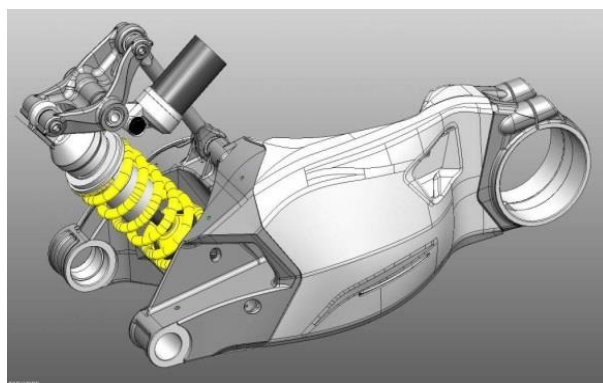


Ilustración 31 – Diseño CAD del conjunto basculante y suspensión trasera (monoamortiguador)

Frenos

Los frenos son los encargados de disminuir la velocidad de la motocicleta si así lo requiere el piloto. El sistema de frenado consta de un circuito hidráulico que al activarse provoca la deceleración de la motocicleta mediante fricción (*Ilustración 32*). La capacidad de frenada dependerá del área de fricción, del material de las pastillas, de la fuerza aplicada por el sistema de accionamiento y de la distancia desde el punto de aplicación de la fuerza al eje de giro de la rueda. La totalidad de las motocicletas de competición llevan frenos de disco, presentando un disco pequeño en la rueda trasera y un disco mucho mayor en la rueda delantera. Esto es así debido a que en las frenadas, el freno delantero es el que tiene mayor importancia, debido a la transferencia de pesos del tren trasero al delantero.



Ilustración 32 – Sistema de accionamiento (maneta) y disco de freno delantero

3.4 ELEMENTO DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN - DIRECCIÓN: LA TIJA

3.4.1 INTRODUCCIÓN

La horquilla delantera de suspensión está unida al chasis de la motocicleta mediante las tijas, superior e inferior. El eje de giro de la dirección se fija a la tija inferior y ésta, junto con la superior, se une a la columna de la dirección por medio de dos rodamientos, que suponen la unión efectiva y proporcionan la suavidad necesaria para realizar el giro de todo el conjunto delantero (*Ilustración 33*). Ambas tijas son las encargadas de fijar las barras de la horquilla al conjunto de la rueda delantera mediante el eje delantero.



Ilustración 33 - Sistema dirección (Tija)

3.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA TIJA

Las fuerzas que provienen de la propia moto y del accionamiento de los frenos se transmiten a través de las tijas, elementos que anclan la horquilla a la pipa de dirección; a través de estas piezas se trasladan unas enormes cargas al bastidor y son claves a la hora de afinar la puesta a punto de la absorción lateral que es capaz de llevar a cabo el conjunto de una motocicleta. Según el diseño que se le otorgue a estas piezas podremos conseguir la resistencia y flexibilidad deseadas para cada motocicleta y piloto.

En la *Ilustración 34* podemos ver la pletina superior de la Ducati Desmosedici con la que compitió Stoner durante el Mundial de Motociclismo de 2010 (Moto GP), muy sólida, convencional y con mucha rigidez.



Ilustración 34 - Tija superior (Ducati Desmosedici Moto GP de Stoner)

En cambio, en la *Ilustración 35* observamos la elaborada pletina superior de la Yamaha YZR-M1 con la que compitió Jorge Lorenzo en 2010, muy debilitada para permitir cierto grado de flexión lateral.



Ilustración 35 - Tija superior (Yamaha YZR-M1 Moto GP de Lorenzo)

3.5 COMPONENTE PRINCIPAL DEL SISTEMA BASTIDOR: EL CHASIS

3.5.1 INTRODUCCIÓN

El chasis o bastidor de la motocicleta es la estructura que integra entre sí y sujeta tanto los componentes mecánicos, como el grupo motor-propulsor y la suspensión de las ruedas, incluyendo la carrocería si fuera el caso. Aporta rigidez y forma a la motocicleta. Además sostiene varias partes mecánicas como el motor, la suspensión, el sistema de escape y el sistema de dirección. El chasis es considerado como el componente más significativo de una motocicleta, aportándola fortaleza y estabilidad en diferentes condiciones.

3.5.2 CARACTERÍSTICAS DEL CHASIS

El chasis, que puede ser simple, de doble cuna, multitubular, de chapa estampada, doble viga, monocasco, etc. Suele construirse preferentemente en acero o aluminio, en casos más raros en magnesio, carbono o titanio. La estructura general de un chasis, independientemente de su tipo, es invariable en todas las motocicletas:

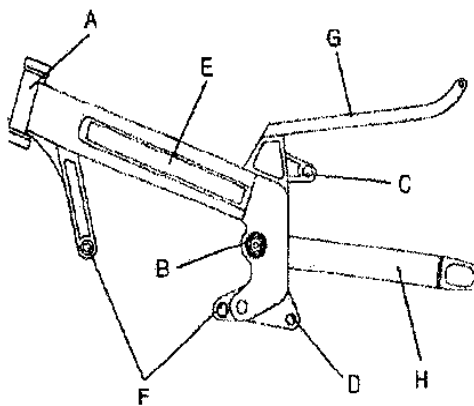


Ilustración 36 - Esquema de la estructura de una motocicleta

Si nos fijamos en la Ilustración 36, por una parte tenemos la zona de anclaje de la suspensión delantera “A”, que al ser esta habitualmente una horquilla telescópica, es un eje que se denomina “pipa de dirección”. Por la propia estructura de la horquilla este punto se sitúa en la parte delantera, en la parte más alta del chasis. El otro punto de anclaje de la suspensión suele ser el eje del basculante “B”, que debe combinarse con un soporte para el o los amortiguadores traseros “C”, e incluso los anclajes de las bieletas de la suspensión trasera “D”, si es que éstas existen. Estas dos zonas están sometidas a grandes esfuerzos, por lo que conviene que sean lo suficientemente rígidas.

Por otro lado el chasis debe unir ambos anclajes con una estructura “E”, y aquí es donde aparece la variedad. Los distintos tipos pueden realizarlo con tubos, chapas, vigas gruesas, etc. Pudiendo ser éstos igualmente los empleados para los anclajes.

Otros elementos que debe tener el chasis son los anclajes para el motor “F”, lo suficientemente resistentes como para que no les afecte ni el peso ni las vibraciones de dicho motor. El motor es ocasionalmente parte de la estructura del chasis ya que, debido a su gran resistencia, puede realizar funciones portantes, permitiendo que el chasis sea más ligero.

También hay que sujetar al piloto mediante la estructura “G” (normalmente conocida como subchasis) y a los diferentes elementos accesorios como el depósito de la gasolina y la carrocería en general. Si se incluye el basculante trasero “H” como un elemento del chasis, hay que señalar que esta pieza está sometida a unos grandes esfuerzos y que debe ser muy resistente. En otros tiempos no se realizaban los basculantes siguiendo esta línea, pero con el tiempo han sido uno de los elementos que más se ha dimensionado.

La rigidez y geometría del chasis son vitales para su estabilidad. Normalmente la rigidez necesaria va en función de la potencia del motor y las características dinámicas. Para hablar de la geometría debemos definir primero unos cuantos conceptos, para ello nos apoyaremos en la *Ilustración 37*:



Ilustración 37 - Geometría básica de la motocicleta

El eje de dirección es la recta que pasa por la pipa de dirección del chasis y sobre la cual gira el sistema de dirección.

Por avance se conoce a la distancia que existe a nivel de suelo entre el centro de la huella de contacto y el punto en el cual el eje de dirección intersecta con el suelo. La rueda delantera y la trasera tienen su propio avance.

Lanzamiento es la inclinación hacia atrás que tiene el eje de dirección.

Adelanto de la horquilla, la horquilla de la suspensión va unida al mecanismo de dirección a través de dos piezas puente, también llamadas tijas, que le proporcionan una posición adelantada a la horquilla con respecto a la dirección. Se mide en ángulo recto con respecto al eje de dirección.

Cuanto mayor es el avance más estable es la moto en recta y más difícil en las curvas, siendo las motos “R” las que suelen tener avances y lanzamientos pequeños para ser rápidas y efectivas en zonas de curvas aunque por esa geometría penalicen bastante en las rectas, cuando el tren delantero se vuelve algo inestable o nervioso. En el caso literalmente contrario nos encontramos las motos de una filosofía custom, que utilizan una geometría con un avance en muchos casos enorme, con avanzadas horquillas, manillares, etc. Donde resaltan las horquillas muy largas para una buena calidad de la moto en línea recta, pero muy penalizada a la hora de abordar curvas y en general en una conducción más deportiva.

3.5.3 CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE CHASIS

Los tipos de chasis se clasifican en función de la forma de unión del cabezal de dirección con la zona del anclaje del basculante. Los diferentes tipos de chasis pueden clasificarse como tubulares, de viga, monocascos o autoportantes. Existe un elemento auxiliar común a todos ellos que es el subchasis.

Chasis Tubulares:

Se dice del tipo de chasis basado en la soldadura o unión con pegamentos de alta resistencia de tubos de acero o aluminio que forman una red de largueros y travesaños alrededor del motor de la moto. Las ventajas de este chasis son, una extraordinaria rigidez con un bajo índice de peso en función del material que empleemos ya sea acero o aluminio. Dependiendo de la cantidad de tubos que partan de la pipa hacia el motor, existen varios tipos de chasis tubulares:

- *Chasis simple cuna cerrado*

Es aquel que dispone de perfiles en un solo plano vertical que parten desde el cabezal de dirección hasta la zona del eje del basculante, es decir, desciende un solo tubo desde la columna de dirección y pasa por debajo del motor formando una cuna, como se puede ver en la *Ilustración 38*. La estructura, compuesta por tubos soldados, alberga al motor en su interior. El perfil en la parte inferior del chasis es continuo desde el cabezal de dirección hasta la zona del basculante. Se utilizaba en motos no deportivas de bajas prestaciones, ya que la rigidez, el peso y la potencia son poco favorables. Actualmente los modelos que se fabrican con este tipo de chasis prácticamente han desaparecido.



Ilustración 38 - Chasis simple cuna cerrado

- *Chasis simple cuna abierto*

Es una variante del chasis de simple cuna cerrado, y se diferencia de este, porque el perfil en la parte inferior está interrumpido al llegar al motor (*Ilustración 39*), siendo el motor el que cierra esa zona. En este caso se utiliza el motor como estructura resistente. Estos chasis son muy económicos y son habituales sobre todo en cilindradas pequeñas y en la mayoría de motocicletas trail.



Ilustración 39 - Chasis simple cuna abierto

- *Chasis doble cuna cerrado*

Dos tubos descienden desde el cabezal de dirección y pasan por debajo del motor formando una cuna y abrazando al motor por los laterales en su parte inferior, en la zona del cárter, llegando al anclaje del basculante por separado (*Ilustración 40*). Estos chasis son más rígidos que los de simple cuna ya que forman una estructura más sólida. En muchos casos la cuna o parte inferior del chasis va atornillada para facilitar su desmontaje a la hora de introducir el motor. Es usual en motocicletas tipo custom. También era típico de motocicletas de grandes cilindradas en los años 80.



Ilustración 40 - Chasis doble cuna cerrado

- *Chasis multitubular*

Este chasis consiste en dos vigas a cada lado del motor, que unen el cabezal de dirección con la zona del eje del basculante trasero, pero compuestas por tubos, rectos y cortos, colocados a modo de celosía. Estos tubos cortos, que suelen ser de secciones circulares y de acero, le dan una gran rigidez al chasis. Generalmente estos tubos se diseñan para que solo trabajen a tracción o a compresión.

En muchos casos el motor se utiliza adicionalmente como elemento estructural, soportando incluso el anclaje directo del basculante trasero. Este tipo de chasis es muy característico de Ducati (*Ilustración 41*).



Ilustración 41 - Chasis multitubular Ducati

Chasis de Viga:

El chasis de viga se enfrenta de otra manera al problema que supone lograr una resistencia apropiada a torsión y a flexión. Consiste en usar una viga (de sección circular o con otro tipo de geometría) de gran diámetro, en comparación con los tubulares, como pieza principal del chasis, de tal forma que se puede obtener un diseño con alto grado de rigidez y con gran ligereza, de manera simple. Suponiendo que el tubo tenga la sección necesaria, éste no tiene por qué ser circular, a pesar de que es una manera sencilla de lograr que el chasis tenga una buena rigidez torsional.

- Chasis monoviga

Podría considerarse como un tipo de chasis tubular en el que el tubo discurre por la parte superior toma mayor protagonismo, con mayores dimensiones y llega a ser prácticamente una viga. El motor ya no se rodea en la parte inferior por la cuna, sino que queda colgado bajo el perfil tubular o espina central del chasis (*Ilustración 42*). Esta monoviga dispone de unos soportes laterales para permitir anclar al motor.



Ilustración 42 - Chasis monoviga

- *Chasis doble viga*

Este tipo de chasis es el más utilizado en motos deportivas. La estructura que conforma este tipo de chasis se define perfectamente por su nombre, está formada por dos vigas de elevada sección, una a cada lado del motor, que parten del cabezal de dirección y acaban en la zona del eje del basculante (*Ilustración 43*). Suelen ser generalmente de aleaciones de aluminio. Incorporan soportes inferiores para anclar el motor. Estos chasis pueden ser fabricados por fundición, laminación o extrusión. El cabezal de dirección y la zona del anclaje del basculante son las zonas que sufren mayores esfuerzos, por ello son zonas que generalmente se suelen fabricar mediante fundición.



Ilustración 43 - Chasis doble viga

- *Chasis doble viga cerrado*

Es una variante del chasis de doble viga y que apareció anteriormente. En este caso, además de disponer de las dos vigas que abrazan al motor en su zona superior por los laterales, parten otros dos tubos del cabezal de dirección hacia la zona inferior del motor y al basculante, haciendo de cuna y con sección muy inferior que las de la doble viga (*Ilustración 44*).

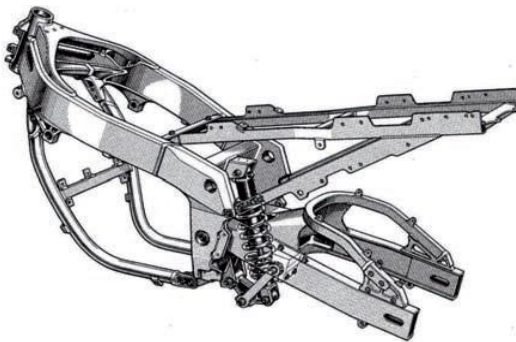


Ilustración 44 - Chasis doble viga cerrado

Chasis monocasco:

Es el tipo de chasis utilizado por Vespa durante muchos años. Chasis monocasco autoportante de chapa estampada que hace las funciones de chasis y a la vez de carrocería. Es una técnica que se utiliza en su mayoría en los diseños del automóvil (carrocería autoportante). Es un tipo de chasis muy inusual en otros modelos de motocicletas, sin embargo lo utiliza una moto deportiva como la Kawasaki ZX12R (2005) (*Ilustración 45*) y la ZZR 1400, fabricado en aleación de aluminio, en el que el chasis conforma además parte de la caja de admisión-airbox.

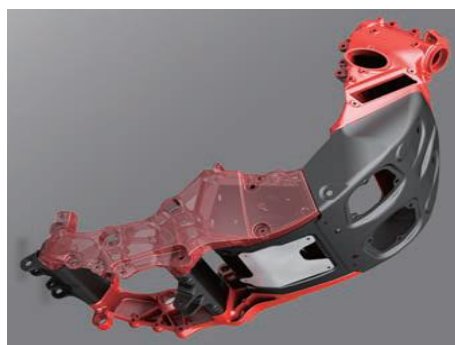


Ilustración 45 - Chasis monocasco

Chasis autoportante:

Los bastidores considerados auto-portantes tienen como peculiaridad la utilización del motor como parte estructural (*Ilustración 46*), por tanto sufre esfuerzos al ser parte del chasis. Es la unión entre la parte delantera y el basculante, las tres partes de la motocicleta son necesarias para poder mantenerse como un bloque unido.

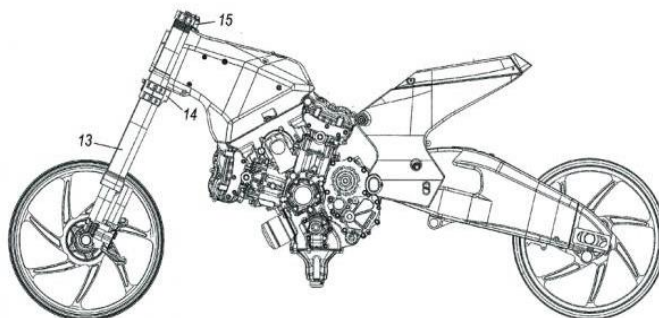


Ilustración 46 - Chasis auto-portante

Subchasis:

Así se denomina a las piezas que sujetan indirectamente el resto del cuerpo de la moto como son los asientos, maleta, etc. Por decirlo de alguna manera son los pilares que sujetan la parte habitable de la moto.

3.5.4 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO

Una de las principales características de un chasis es su rigidez. Lo que buscan los ingenieros es tratar de optimizar el valor de rigidez que nos proporcione un buen comportamiento dinámico. Se debe conseguir cierta deformación controlada de los elementos estructurales cuando la motocicleta se encuentra en condiciones desfavorables. De esta forma la moto es capaz de absorber parte de la energía generada cuando atraviesa un bache y esta inclinada, ya que en esta situación los amortiguadores de la motocicleta no son capaces de trabajar correctamente.

Para conseguir la flexibilidad estructural necesaria mediante las mencionadas deformaciones controladas, se juega con distintas rigideces a lo largo del chasis mediante diferentes secciones o formas, incluso combinación de diferentes materiales.

Los factores a tener en cuenta a la hora de diseñar un chasis son:

- La flexibilidad lateral
- La flexibilidad longitudinal
- La torsión

3.5.4.1 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MOTOCICLETA EN FRENADA

En el momento de la frenada, la estructura debe soportar los esfuerzos a los que se ve sometidos debido a la deceleración. Deberá controlar la deformación dentro de su límite elástico a lo largo del eje longitudinal, como se muestra en la *Ilustración 47* (en el sentido de la marcha), pero proporcionando cierta progresividad.

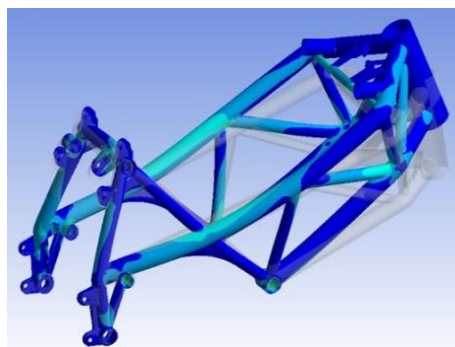


Ilustración 47 – Flexión longitudinal del chasis debido a los esfuerzos de frenada

Esta deformación debe ser controlada para no sufrir variaciones geométricas relevantes que alteren el centro de gravedad del conjunto, ni que el resto de elementos conectados al chasis puedan romperse o separarse de su punto de anclaje.



Ilustración 48 – Motocicletas GP en el momento de frenada

3.5.4.2 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA MOTOCICLETA EN CURVA

Para realizar un giro, basta con desplazar el peso hacia el lado deseado, provocando que la motocicleta se incline y comience a trazar la curva (*Ilustración 49*). Esto provoca que en pleno giro la única parte que amortigua las irregularidades del terreno sea el propio chasis, ya que la suspensión al estar con un ángulo muy pequeño respecto del suelo, no puede trabajar de manera correcta.



Ilustración 49 – Valentino Rossi en carrera trazando una curva

Para ello, los bastidores de motocicletas, soportan una flexibilidad lateral del chasis en el eje de simetría de la moto, como se aprecia en la *Ilustración 50*. Con ello se consigue a través de las deformaciones absorber las imperfecciones del terreno.

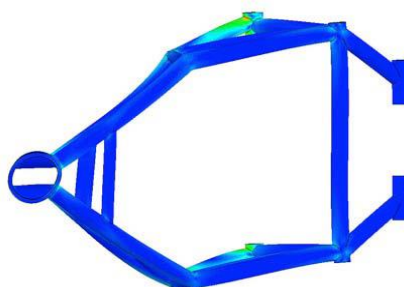


Ilustración 50 - Flexión lateral del chasis debido a los esfuerzos de tomar la curva

Por otra parte, esta flexibilidad en el chasis de la motocicleta, se contrapone con otra característica necesaria para una buena dinámica, como es la mínima torsión en el eje de inclinación provocado por las diferentes fuerzas que transmiten las ruedas al chasis y que tienden a desalinearlas.



Ilustración 51 – Stoner realizando un contra-manillar durante una carrera MotoGP

La rueda trasera tiende a deslizar hacia fuera, haciendo girar la moto hacia el interior de la curva. El piloto gira el manillar hacia fuera de la curva (contra-manillar) manteniendo la trayectoria que desea (*Ilustración 51*) y evitando el giro excesivo de la moto hacia el interior del vértice. Esto origina una torsión en el chasis provocada por la inercia del basculante a seguir la trayectoria de la rueda trasera, un ejemplo de ello lo vemos en la *Ilustración 52*.

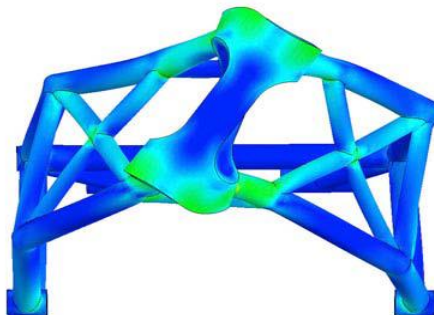


Ilustración 52 – Torsión en la pipa de dirección del chasis debido a los esfuerzos de tomar la curva

4. METODOLOGÍA

4.1 DATOS DE PARTIDA

Con el objetivo de estandarizar y acotar el amplio abanico de posibilidades de construcción de un prototipo la organización aporta elementos de la motocicleta, algunos de uso obligatorio (como el motor, llantas y neumáticos) y otros opcionales si no se opta por el uso de ese tipo de elemento (como suspensión delantera y trasera, horquillas y amortiguador respectivamente).

- Llantas: exactamente son las llantas de la Yamaha YZF 125R (*Ilustración 53 y 54*).

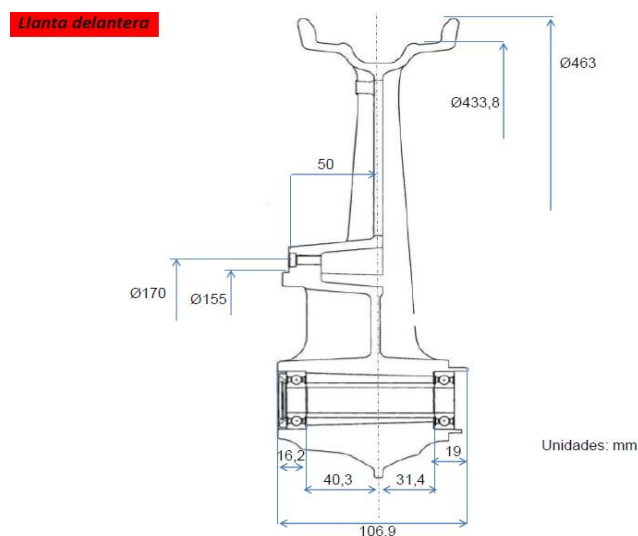


Ilustración 53 – Plano de la llanta delantera Yamaha YZF 125R para MotoStudent

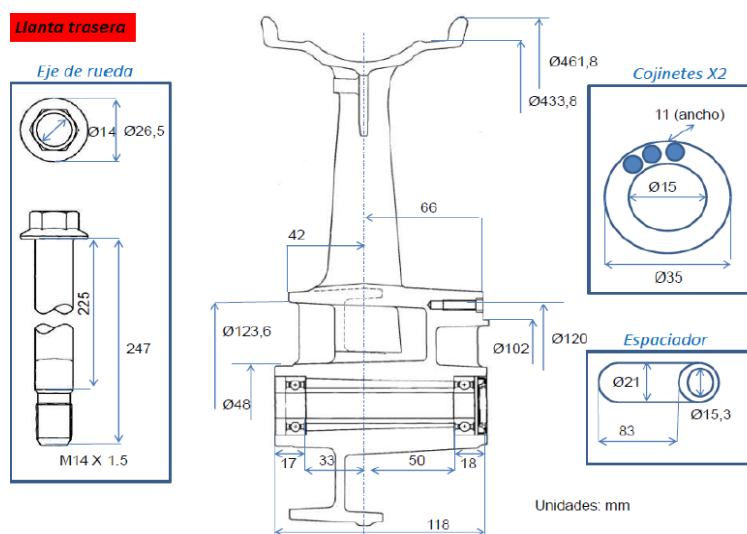


Ilustración 54 - Plano de la llanta trasera Yamaha YZF 125R para MotoStudent

- Amortiguador trasero: se trata de un amortiguador muy básico (*Ilustración 55*) con un recorrido útil de 50 mm y 54mm entre topes.

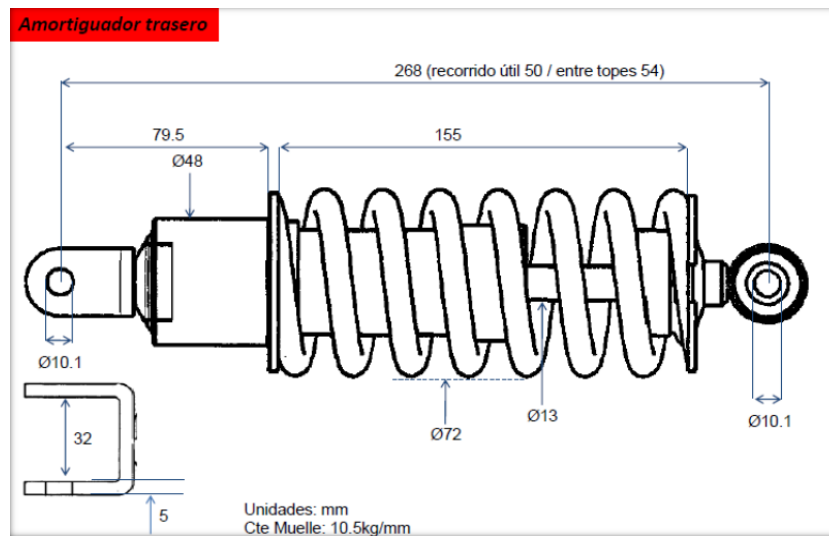


Ilustración 55 - Plano del amortiguador trasero Yamaha YZF 125R para MotoStudent

- Suspensión delantera: Horquillas telescópicas Yamaha YZF 125R (*Ilustración 56*).

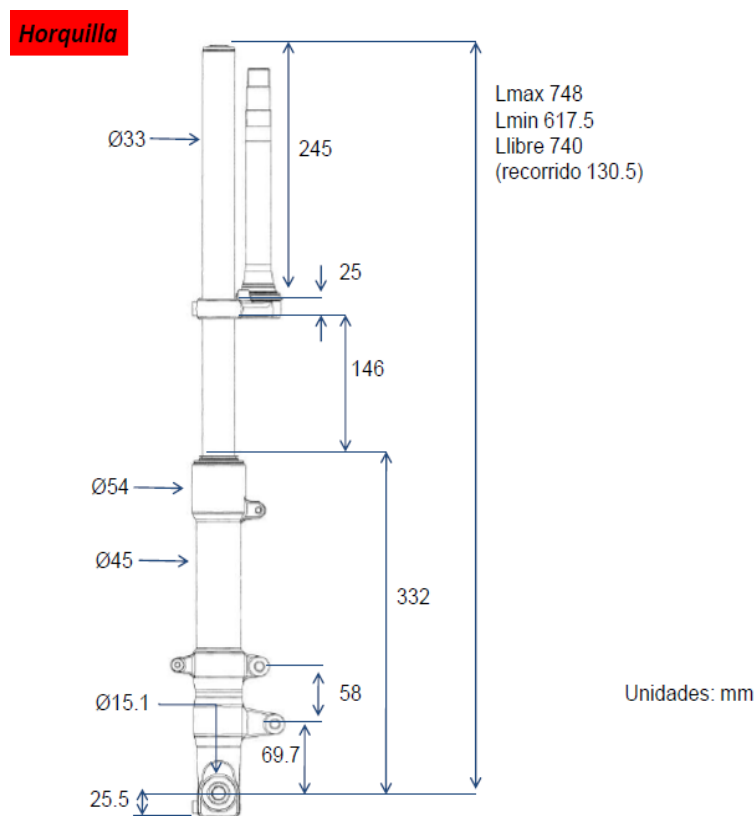


Ilustración 56 - Plano de la horquilla Yamaha YZF 125R para MotoStudent

- Motor (4t/ 250 cc), en concreto es el motor Yamaha (*Ilustración 57*) del modelo WRF 250 del año 2011.

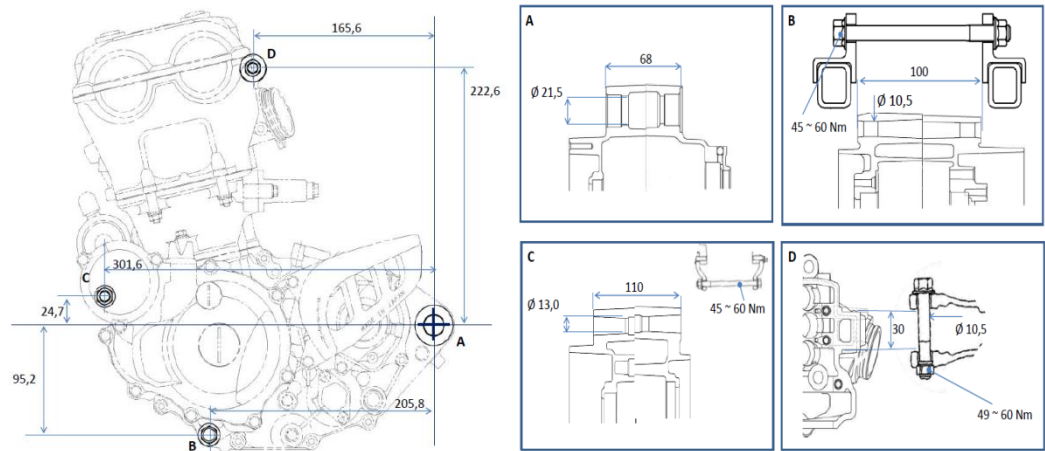


Ilustración 57 - Plano del motor Yamaha WRF 250 para MotoStudent

- Neumáticos: Delantero: 100/80 – 17” 52T TL
Trasero: 130/70 – 17” 52T TL

Para entender el significado de estos parámetros analizaremos la tabla que se muestra a continuación (*Tabla 3*).

100/80 – 17 M/C	
100	Son los milímetros de ancho del neumático (banda de rodadura).
80	Nos dice el perfil del neumático (ancho flanco lateral), que se mide porcentualmente al ancho de la goma (tire aspect ratio [%]), es decir el 80% de 100.
17	Indica el diámetro de la llanta (en pulgadas) en la que debe ir montado dicho neumático (distancia entre los bordes de la goma pasando por el centro).
M/C	Es la abreviatura de MotoCicleta (MotorCycle). Usado para diferencia el destino del uso de este producto.

Tabla 3 - Nomenclatura para designar los neumáticos



Ilustración 58 - Neumáticos de competición

4.2 HERRAMIENTAS DE DISEÑO, ANÁLISIS Y FABRICACIÓN

Para el diseño de este proyecto se va a usar el programa de diseño asistido por ordenador Pro-Engineer ya que es el programa oficial para la competición, son aportadas licencias académicas gratuitas por parte de la organización, y el envío y presentación de diseños debe realizarse en este formato. Este programa consta de distintos módulos para poder abordar el problema completo, sin embargo en el cálculo de esfuerzos por elementos finitos se utiliza el software SolidWorks ya que se disponen de modelos y análisis en este formato de la anterior edición con los que cotejar los resultados obtenidos sin problemas de compatibilidad.

En la fabricación, a la hora de comunicarse con proveedores, se utiliza el programa más común AutoCad. Y para la fabricación en C.N.C. se utiliza el programa Mastercam.

4.3 CRITERIOS PARA LA FABRICACIÓN

Los objetivos principales en el diseño de un chasis son la ligereza y la rigidez. Pero hay muchos más parámetros que se deben tener en cuenta para conseguir que el conjunto se aproxime lo máximo a las necesidades que se buscan y tener mayor competitividad.

Por un lado están los parámetros que definen la viabilidad del diseño y por otro los relacionados con la competición. De los resultados se obtendrá la motocicleta que más se acerque a nuestros requisitos.

Parámetros relacionados con la viabilidad del diseño

- Rigidez

La estructura de la moto debe ser capaz de mantener los parámetros geométricos dentro de unos valores adecuados, garantizando así una seguridad estructural, ante todas las condiciones de carga que se pueden dar.

- Deformación

Se debe conseguir una deformación controlada en todo el chasis, siempre con un margen de seguridad que dependerá del límite elástico del material.

- Fabricación

En el proceso de fabricación se divide en:

Dificultad: Dificultad de fabricación, desde un punto de vista crítico, de conseguir los resultados esperados.

Medios: Disponibilidad de la maquinaria para la fabricación del prototipo.

Coste: Margen del patrocinio necesario para poder sufragar la fabricación del prototipo.

- *Material*

El material seleccionado influirá en el diseño, en las propiedades dinámicas, en el coste del prototipo, la fabricación del mismo, etc.

- *Viabilidad con el resto de la motocicleta*

El chasis deberá encajar con el resto de áreas de la motocicleta. Es decir, la facilidad para unir los puntos de interface con el resto de componentes.

Parámetros relacionados con la competición

- *Peso*

Para los vehículos de competición el peso es una característica importante, influye en el aspecto dinámico de la motocicleta. Un menor peso supone mejores condiciones para el paso por curva, la aceleración y la frenada. Según reglamento técnico de la competición, el conjunto debe tener un peso mínimo de 95 Kg.

- *Innovación tecnológica*

Este es uno de los criterios que se valora dentro de la competición MotoStudent. A través de un diseño sorprendente se intentara obtener la máxima puntuación dentro de esta área.

- *Facilidad de reglaje*

Los componentes que se deben manipular a lo largo de una competición deben tener una buena accesibilidad para realizar cambios sobre la moto en el menor tiempo posible.

- *Facilidad de evolución*

Se deben contemplar la posibilidad de poder mejorar las prestaciones del conjunto con pequeños cambios geométricos.

4.4 PARÁMETROS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO DEL CHASIS

Mediante los parámetros mencionados en el apartado “4.3 CRITERIOS PARA LA FABRICACIÓN”, se realizará una comparativa de los diferentes tipos de chasis que más se acercarán a nuestro objetivo. Para ello realizaremos un baremo (*Tabla 4*), otorgando pesos del uno al tres en función de las prestaciones en cada uno de los parámetros.

Prestación	Peso
Alta	3
Media	2
Baja	1

Tabla 4 - Baremo prestaciones-peso para la comparativa de los distintos tipos de chasis

La primera tabla que se completará (*Tabla 5*), mostrará una comparativa de los parámetros relacionados con la viabilidad del diseño.

Tipo Chasis	Rigidez	Deformación	Fabricación Dificultad Medios Costes	Material	Viabilidad	Puntuación Total
<i>Multitubular</i>						
<i>Doble cuna abierta</i>						
<i>Cuna sencilla abierta</i>						
<i>Doble cuna cerrada</i>						
<i>Auto portante</i>						
<i>Doble viga</i>						

Tabla 5 - Parámetros relacionados con la viabilidad entre distintos tipos de chasis

La segunda tabla que se realizará (*Tabla 6*), mostrará una comparativa de los parámetros relacionados con la competición.

Tipo Chasis	Peso	Innovación	Reglaje	Evolución	Puntuación Total
<i>Multitubular</i>					
<i>Doble cuna abierta</i>					
<i>Cuna sencilla abierta</i>					
<i>Doble cuna cerrada</i>					
<i>Auto portante</i>					
<i>Doble viga</i>					

Tabla 6 - Parámetros relacionados con la competición entre distintos tipos de chasis

4.5 CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS

El Método de Elementos Finitos (MEF) es una herramienta de gran ayuda a la hora de solucionar problemas ingenieriles. Permite un ahorro de tiempo en el cálculo y económico a la hora de la fabricación de cualquier pieza.

Hay que tener en cuenta que es un método de simulación aproximado basado en hipótesis básicas. Los prototipos por lo tanto, siguen siendo necesarios, porque hasta el momento no hay nada que supere las pruebas reales. Lo que se consigue con la simulación es que el primer prototipo construido este más depurado y cercano al diseño final.

En cualquier sistema a analizar se puede distinguir entre:

- *Dominio:*
Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
- *Condiciones de contorno:*
Variables conocidas y que condicionan el cálculo del sistema: cargas, restricciones, temperaturas, voltaje...etc.
- *Incógnitas:*
Variables del sistema que se desean conocer después de que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema: desplazamientos, tensiones, temperaturas, etc.

Los elementos se definen por un numero discreto de puntos (nodos), que conectan entre si los elementos. Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema. En el caso de elementos estructurales estas incógnitas son los desplazamientos nodales, ya que a partir de estos se puede calcular el resto de incógnitas que nos interesen: tensiones, deformaciones, etc. A estas incógnitas se les denomina grados de libertad de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo.

Planteando la ecuación diferencial que rige el comportamiento del continuo para el elemento, se llega a fórmulas que relacionan el comportamiento en el interior del mismo con el valor que tomen los grados de libertad nodales. Este paso se realiza por medio de unas funciones llamadas de interpolación, ya que estas 'interpolan' el valor de la variable nodal dentro del elemento.

El problema se formula en forma matricial debido a la facilidad de manipulación de las matrices mediante ordenador. Conocidas las matrices que definen el comportamiento del elemento (en el caso estructural serán las llamadas matrices de rigidez, amortiguamiento y masa, aunque esta terminología ha sido aceptada en otros campos de conocimiento) se ensamblan y se forma un conjunto de ecuaciones algebraicas, lineales o no, que resolviéndolas nos proporcionan los valores de los grados de libertad en los nodos del sistema.

Condiciones de contorno para el estudio MEF

Para analizar el comportamiento estructural de la motocicleta, se realizará un estudio MEF con el módulo de Simulación dentro del software SolidWorks.

Para el estudio se someterá a los elementos a las mismas cargas y restricciones, así se podrá comparar cual tiene un mejor comportamiento.

El estudio tratará de simular las condiciones más críticas a las que la motocicleta se verá sometida en el circuito, que son la frenada y el paso por curva. Para un análisis preliminar tanto del chasis como de la tija se realizará una simulación de los esfuerzos en frenada. Para el estudio posterior, más exhaustivo, de los modelos seleccionados y propuestos, se realizará un análisis de los esfuerzos y desplazamientos, tanto en frenada como en paso por curva.

Las cargas

Las cargas a las que se someterán los elementos serán.

- *Cargas que se provocan al frenar:*

1. Al accionar el freno delantero el peso va hacia delante, pudiendo quedar incluso, según la fuerza de frenada, la rueda trasera en el aire. El peso recae en su totalidad sobre la rueda delantera, y se transmite a través de la horquilla de la suspensión hasta el chasis. Esta es la reacción normal (N) y se produce en el punto de contacto entre el suelo y el neumático (*Ilustración 59*).

$$N = (m_{\text{moto}} + m_{\text{piloto}}) \times g$$

Siendo:

N: fuerza normal (Newton).

m_{moto} : masa de la motocicleta (Kg).

m_{piloto} : masa del piloto (Kg).

g: fuerza gravitatoria $9,8 \text{ m/s}^2$ (por simplificación de los cálculos se toma 10 m/s^2)



Ilustración 59 - Fuerza normal, reacción sufrida por la motocicleta en la frenada

2. La fuerza de frenada provoca una carga en dirección de la marcha de la moto, pero con sentido contrario y hace que la moto se detenga. Es la fuerza de rozamiento (F_r) y se origina en el punto de contacto entre la rueda y el asfalto (*Ilustración 60*).

$$F_r = \mu \times N$$

Siendo:

F_r : fuerza de rozamiento (Newton).

μ : coeficiente de rozamiento (estimación de 1,2)

N : Reacción normal (Newton).



Ilustración 60 – Fuerza de rozamiento, reacción sufrida por la motocicleta en la frenada

- *Cargas que se provocan en la entrada en curva:*

3. La tercera carga se origina cuando la moto está inclinada para comenzar a trazar la curva. En la entrada en curva la moto aún se encuentra frenando por lo que el peso está adelantado y recae sobre la rueda delantera. Esta inclinación da lugar a una reacción, perpendicular a la zona de contacto del neumático con el asfalto (*Ilustración 61*). Se simulará el caso crítico en el que la reacción es perpendicular a la dirección de marcha, es decir, la moto está paralela al suelo.

$$F_l = (m_{\text{moto}} + m_{\text{piloto}}) \times g$$

Siendo:

F_l : fuerza lateral (Newton)

m_{moto} : masa de la motocicleta (Kg).

m_{piloto} : masa del piloto (Kg).

g : fuerza gravitatoria $9,8 \text{ m/s}^2$ (por simplificación de los cálculos se toma 10 m/s^2)



Ilustración 61 - Fuerza lateral, reacción sufrida por la motocicleta en la entrada en curva

Restricciones de movimiento

Para llevar a cabo la simulación se colocan restricciones en los puntos de unión entre el elemento y los puntos de interface donde va colocado, estos son:

- En el caso de la tija: barra dirección
- En el caso del chasis: la placa que rodea el motor en su parte delantera, el anclaje superior del motor y el eje que lo une al basculante.

Habrán dos tipos de restricciones (*Ilustración 62*):

- En el interior de los casquillos, zona de contacto de los casquillos de sujeciones con los ejes, será una restricción que permite la rotación en torno al eje de sujeción y bloquea la translación en la torno a los dos ejes restantes.
- En las caras planas exteriores de los casquillos será también una restricción que permite el giro en todas las coordenadas, pero que bloquea la translación en el eje correspondiente, evitando el desplazamiento lateral del chasis.

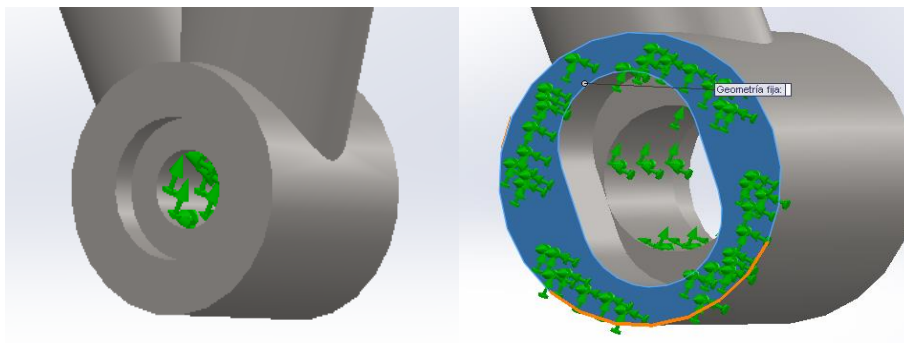


Ilustración 62 – Restricciones de movimiento aplicadas para la simulación

Material

Para realizar la simulación del comportamiento se debe introducir en el programa el material que compone el elemento. Para la simulación de la tija, se introducen los valores de las características que el programa requiere correspondientes al aluminio 5038 (H111) y en el caso del chasis se introducirán los correspondientes al acero ST 52-3(F112).

Mallado

El mallado se realizará automáticamente por el programa con una eficiencia para análisis cotidianos aceptable, pero para realizar análisis más exhaustivos a veces se hace necesaria un mallado más detallado para poder analizar las zonas más críticas.

5. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS PRIMARIOS:

TIJA Y CHASIS

5.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en el proceso de diseño de un chasis, la mecánica y la informática van de la mano. Gracias al uso de potentes software de diseño mecánico es posible, diseñar y ensamblar un sin fin de componentes antes de fabricar ninguno de ellos.

Si además utilizamos los programas de cálculo y simulación, incluso podemos prever con bastante exactitud su comportamiento estructural bajo las cargas a las que estarán sometidos dichos componentes. Esto permite realizar las mejoras necesarias en los elementos antes de su fabricación suponiendo un gran ahorro de tiempo y costes (*Ilustración 67*).

El diseño por ordenador de un chasis o tija, dado unos elementos ya definidos, sigue una línea de trabajo bien definida:

- Definición de las cotas de los elementos de partida y de las cotas que se deseen para la motocicleta. Entre dichas cotas destacan la distancia entre ejes, el diámetro de las ruedas, dimensiones de las suspensiones, del basculante, del sistema de dirección y del motor. Esto define el reparto de masas, cuestión muy importante ya que cuanto más concentradas en un punto, más manejable será la moto.
- Diseño mediante software CAD de los elementos anteriores para tener una primera aproximación del chasis. Establecer la estructura del chasis, para llevar a cabo después la adaptación del conjunto hasta su optimización (*Ilustración 63*). Gracias a que se trata de un software paramétrico se puede hacer y deshacer, remodelar y modificar cuanto se desee con el fin de obtener la geometría necesaria.
- Cálculo de esfuerzos y deformaciones, mediante software MEF (método de elementos finitos), decidiendo bajo qué estado de cargas se ensaya comportamiento del chasis. Si los resultados de todos estos análisis son correctos, se da por bueno el chasis y se pasa a su fabricación, sino podemos volver al paso anterior y redefinir los parámetros que nos interesen para alcanzar los compromisos funcionales definidos para el chasis que queremos diseñar.



Ilustración 63 – Ejemplo del paso del diseño CAD a la fabricación del prototipo

5.2 ELEMENTOS INICIALES OBLIGATORIOS

Como ya vimos en el apartado “4.1 DATOS DE PARTIDA”, con el objetivo de estandarizar y acotar la construcción del prototipo, la organización de la competición MotoStudent aporta elementos de la motocicleta algunos de uso obligatorio (motor, llantas y neumáticos) y otros opcionales si no se opta por el uso de ese tipo de elemento (suspensión delantera y trasera, horquillas y amortiguador, respectivamente).

Llantas y Neumáticos

El uso de ambos elementos es obligatorio. Las llantas de la Yamaha YZF 125R, tanto delantera como trasera son de 17 ", mientras que en los neumáticos el delantero es 100/80 – 17 M/C y el trasero 130/70 – 17 M/C.

Una pulgada equivale a 0,0254 metros, luego las llantas tendrán un diámetro exterior de 431,8 mm. El neumático delantero tendrá 100 mm de ancho y 80 mm de altura, luego el conjunto delantero llanta/neumático tendrá un diámetro total de 591.8 mm. El neumático trasero tendrá 130 mm de ancho y 91 mm de altura, luego el conjunto trasero llanta/neumático (Ilustración 68) tendrá un diámetro total de 613.8 mm.



Ilustración 64 - Conjunto llanta/neumático delantero de la Yamaha YZF 125R

Horquilla y tija inferior

Ambos elementos son Yamaha del modelo YZF 125R y de uso obligatorio siempre que se opte por un sistema de suspensión delantera tradicional. La horquilla telescópica (*Ilustración 65*) tiene una longitud de 740 mm cuando se encuentra libre de cargas y un recorrido de 130,5 mm, por lo que la longitud mínima será de 617,5 mm y la máxima de 748 mm.

La tija inferior (de 16 mm de grosor), va unida a la barra de dirección (de 240 mm de longitud) para la pipa del chasis, es también cedida por la organización y tiene una distancia entre horquillas de 174 mm y el valor del offset (o distancia entre el plano formado por los ejes de las barras de la horquilla y el eje de dirección; es decir, el descentramiento entre el eje de la rueda delantera y el eje de dirección) es de 40 mm.



Ilustración 65 - Horquillas y tija inferior Yamaha del modelo YZF 125R

Motor

Elemento de uso obligatorio y está prohibida cualquier modificación sobre él. El motor, de la Yamaha WR 250 F (*Ilustración 66*), es monocilíndrico, 4 tiempos, 5 válvulas y 249 c.c. Las distancias entre los puntos de anclaje están detallados en el apartado “ 4.1 Datos de partida” en el plano correspondiente al motor que facilito la organización.



Ilustración 66 - Motor Yamaha WR 250F

5.3 BOCETO: MODELO 2D

Uno de los primeros pasos a la hora de diseñar un chasis desde cero, es establecer las principales pautas geométricas que debe respetar el chasis para la correcta interacción con el resto de elementos.

El uso de elementos comunes obligatorios nos aporta una base de restricciones geométricas desde la cual iniciar un boceto 2D que organizará la estructura de todo el conjunto. Estos elementos de partida de los cuales disponemos de las medidas, como ya hemos visto con anterioridad, son: llantas, neumáticos, horquilla, tija inferior, motor y amortiguador.

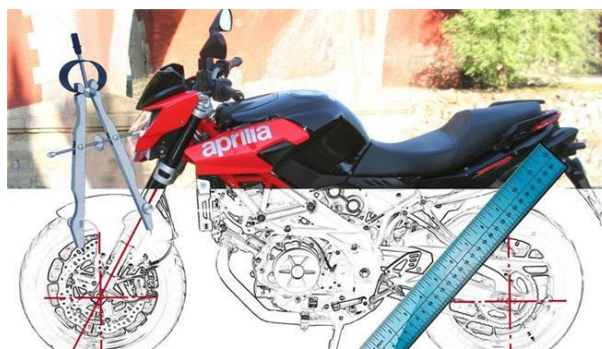


Ilustración 67 - Esquema concepto 2D

Para continuar con la realización del boceto hay que determinar medidas como:

- *Distancia entre ejes*

La distancia entre ejes, o también llamada batalla, es la distancia entre los centros de las ruedas (*Ilustración 68*) cuando las suspensiones están en reposo. Aunque la distancia entre ejes no es un tema crítico en el sentido de que tiene que ser exacto, influye mucho la maniobrabilidad de la moto y su feeling. Una distancia entre ejes grande produce una gran estabilidad en línea recta pero reduce su capacidad para entrar en curva. Por el contrario, una distancia entre ejes corta convierte la moto en más ágil para entrar en curvas, mientras que la hace más nerviosa en rectas a alta velocidad.

Para nuestro boceto 2D se establece este parámetro en 1.350 mm.



Ilustración 68 – Esquema de cota (distancia entre ejes)

- *Lanzamiento*

Es el ángulo que toma la pipa de dirección (*Ilustración 69*) con la normal de la rueda delantera. Para motos convencionales este ángulo varía entre 22 y 29 grados. Un cambio de ángulo de lanzamiento produce un cambio en otro parámetro de la geometría de la moto como es el avance. También afecta en la manera de transmitir las irregularidades del terreno a la suspensión o el hundimiento de la misma ante el uso de los frenos: una horquilla muy lanzada es más "dura" que una más vertical. Influye también en la maniobrabilidad, ante un mismo ángulo de giro del manillar, una moto con un ángulo pequeño tiene un radio de giro más pequeño que otra con más ángulo.

Por tanto ángulos de lanzamiento elevados dan más estabilidad a la moto y ángulos más agudos consiguen que sea más ágil en los cambios de dirección favoreciendo una entrada mejor en curvas.

El ángulo que se establece para nuestro modelo es de 22 grados.

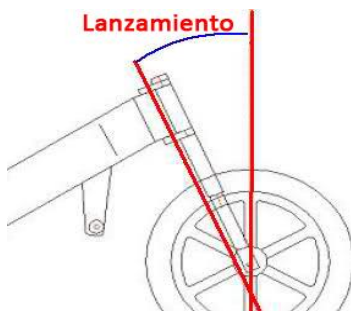


Ilustración 69 - Esquema de cota (lanzamiento)

- *Posición de la barra de suspensión (horquilla) respecto de la tija*

Con el cambio de la posición de la tija en las barras de suspensión, podemos variar ligeramente la geometría de la dirección, el reparto de pesos y la altura de la moto (*Ilustración 70*). Si se suben las barras de las horquillas, las tijas quedan más cerca de la rueda, de manera que se reduce el ángulo y el avance de la dirección respecto de la rueda delantera.

Esto provoca un cambio del comportamiento de la moto hacia reacciones más radicales: la moto es más ágil y rápida de dirección, pero pierde estabilidad en línea recta y tracción a la salida de las curvas.

En ambos casos, hay que comprobar que al realizar modificaciones de espacio, la rueda no choque con ningún elemento durante su recorrido.

En nuestro caso, con el fin de bajar el centro de masas todo lo posible, la distancia entre el extremo de las horquillas y la tija superior será de 40 mm.

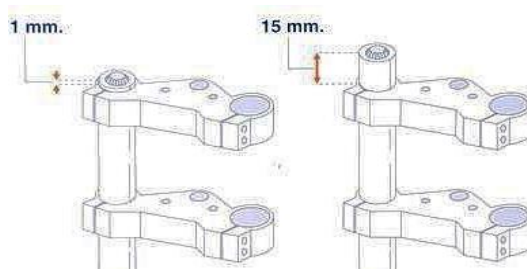


Ilustración 70 - Posición variable de la barra de suspensión respecto de la tija

- *Longitud y ángulo del basculante*

Además de las medidas anteriores, otra dimensión muy importante en la geometría del chasis, que es necesaria comprobar en la verificación, es la distancia entre el cabezal de dirección o pipa y el eje del basculante; es decir, la longitud y el ángulo del basculante que determina la longitud y altura entre la pipa y el eje del basculante (*Ilustración 71*).

Las dimensiones del basculante son de 530 mm y en un ángulo de 8 grados.

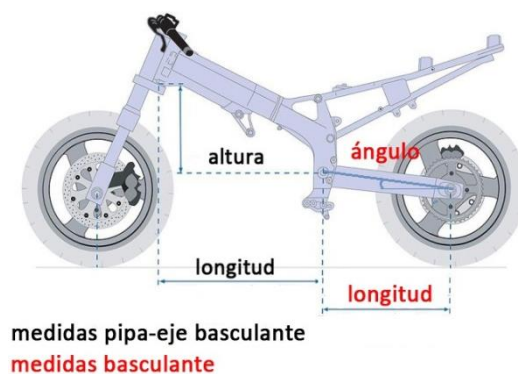


Ilustración 71 - Distancia relativas al basculante y a la posición de su eje respecto de la pipa

- *Posición del piloto*

Cada modelo de motocicleta tiene un diseño distinto y, por tanto, la posición del piloto varía considerablemente en función del tipo de motocicleta. En primer lugar, la posición de los pilotos de competición destaca por una postura más efectiva en función de la especialidad, siendo más agrupada en aquellas especialidades en las que el rozamiento del viento es un importante freno (velocidad), frente a otras especialidades en las que se requieren rápidos cambios de dirección, que implica una posición más erguida (trial). Así pues, en las motos de velocidad la posición es muy agrupada, donde existe una importante flexión de las rodillas, caderas, zona lumbar y dorsal, hombros y codos, y una extensión significativa del cuello. Ello le proporciona al piloto una posición más aerodinámica en la moto (*Ilustración 72*), pero conlleva un importante acortamiento muscular en las articulaciones citadas, así como una posición menos óptima para soportar las vibraciones del vehículo, sobretudo en la columna vertebral.

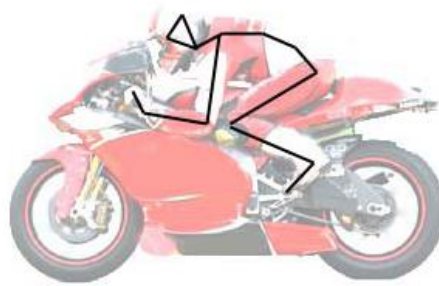


Ilustración 72 - Posición agrupada, la más favorable aerodinámicamente

Se tomaron medidas del piloto en posición de competición (*Ilustración 73*) para tenerlas en cuenta a la hora de diseñar el 2D de la motocicleta. El resultado obtenido fue:

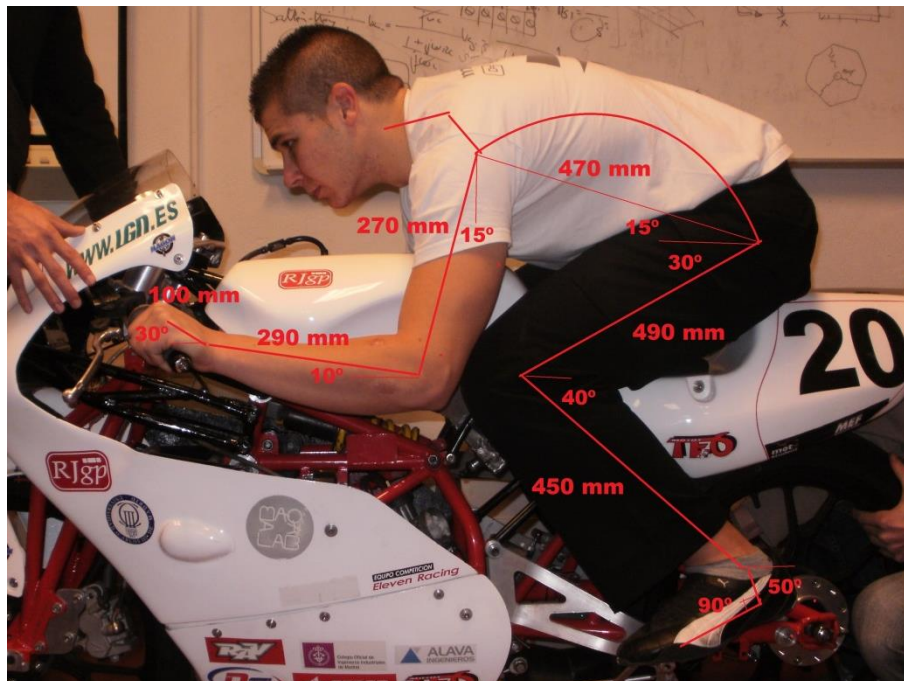


Ilustración 73 - Esquema medidas posición piloto

- *Punto de anclaje y posición del subchasis*

La correcta colocación del punto de anclaje entre el chasis y el subchasis es de gran importancia, ya que de ello depende la integridad del piloto. El subchasis soporta el peso del piloto y debe aportarle una correcta posición cuando se encuentre a los mandos de la motocicleta. Además hay que poner especial atención en evitar el choque del subchasis con la rueda trasera (*Ilustración 74*), teniendo en todo momento presente el hundimiento que se produce consecuencia de la suspensión trasera.



Ilustración 74 – Posición y distancia necesaria entre rueda y subchasis

Con todos los datos conocidos hasta este momento podemos obtener un primer boceto 2D de la geometría de la motocicleta, como se muestra en la *Ilustración 75*:

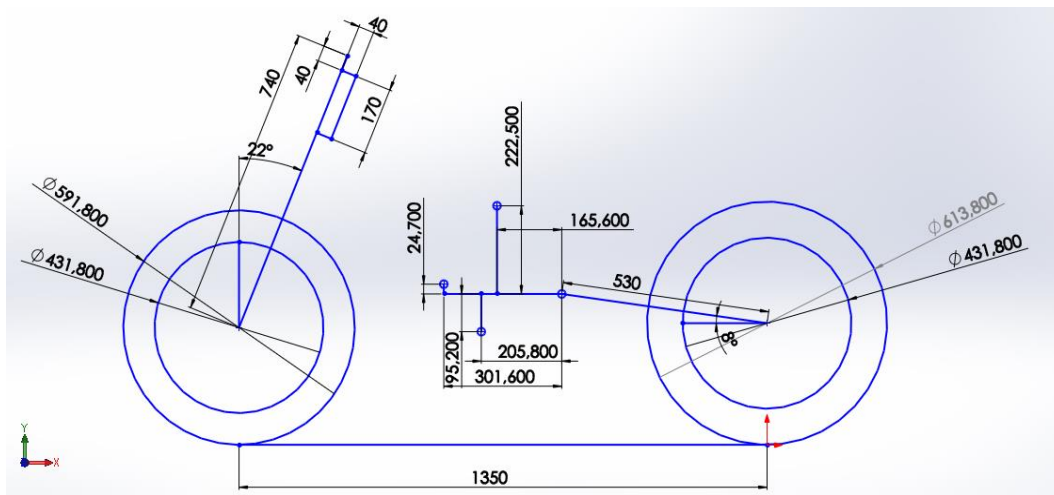


Ilustración 75 – Boceto 2D inicial con la geometría de la motocicleta

5.4 PARÁMETROS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO DEL CHASIS

Mediante los parámetros mencionados en el apartado “4.3 CRITERIOS PARA LA FABRICACIÓN”, se realiza una comparativa de los diferentes tipos de chasis que consideramos más se acercaran a nuestro objetivo. Para ello mediante el baremo mencionado en el citado apartado (*Tabla 4*), otorgamos puntuaciones en función de las prestaciones en cada uno de los parámetros.

La primera tabla (*Tabla 7*), muestra una comparativa de los parámetros relacionados con la viabilidad del diseño.

Tipo Chasis	Rigidez	Deformación	Fabricación			Material	Viabilidad	Puntuación Total
			Dificultad	Medios	Costes			
<i>Multitubular</i>	3	1	1	2	3	3	2	15
<i>Doble cuna abierta</i>	3	2	3	3	3	2	3	19
<i>Cuna sencilla abierta</i>	2	1	3	3	3	2	2	16
<i>Doble cuna cerrada</i>	1	1	3	3	3	2	2	15
<i>Auto portante</i>	3	1	3	3	3	3	1	17
<i>Doble viga</i>	3	3	1	1	1	1	3	13

Tabla 7 - Comparativa de parámetros relacionados con la viabilidad entre distintos tipos de chasis

La segunda tabla (*Tabla 8*), mostrara una comparativa de los parámetros relacionados con la competición.

Tipo Chasis	Peso	Innovación	Reglaje	Evolución	Puntuación Total
<i>Multitubular</i>	1	2	1	2	6
<i>Doble cuna abierta</i>	3	3	3	3	12
<i>Cuna sencilla abierta</i>	3	2	2	1	8
<i>Doble cuna cerrada</i>	3	3	1	2	9
<i>Auto portante</i>	3	3	3	3	12
<i>Doble viga</i>	2	2	3	2	9

Tabla 8 - Comparativa de parámetros relacionados con la competición entre distintos tipos de chasis

5.5 RESULTADOS DE LA COMPARATIVA DE LOS TIPOS DE CHASIS

Según los resultados obtenidos se puede apreciar, que tanto en la comparativa de parámetros relacionados con la viabilidad del diseño como en la comparativa de parámetros relacionados con la competición, el chasis doble cuna abierta y el auto-portante obtienen los mejores resultados y además muy parejos.

Un chasis tubular permite diseñar un bastidor más ligero y se podrá escoger entre varios materiales. El chasis auto-portante y el doble cuna abierta son los más ligeros, una propiedad importantísima a la hora de ganar la competición.

Este tipo de chasis otorga mayor libertad en el diseño, dando mayores posibilidades de crear un diseño alternativo y sorprendente, que favorezca la posible obtención del premio por innovación.

Además los medios disponibles inclinan la balanza hacia el lado del chasis tubular, ya que si sería viable la creación de un potro de soldadura y obtener el patrocinio de algún distribuidor de tubos.

Todo esto indica que, pese a requerir mayor trabajo a la hora de diseñar, se optará por crear un chasis tubular con características semejantes a un chasis auto-portante o doble cuna abierta (*Ilustración 76*).

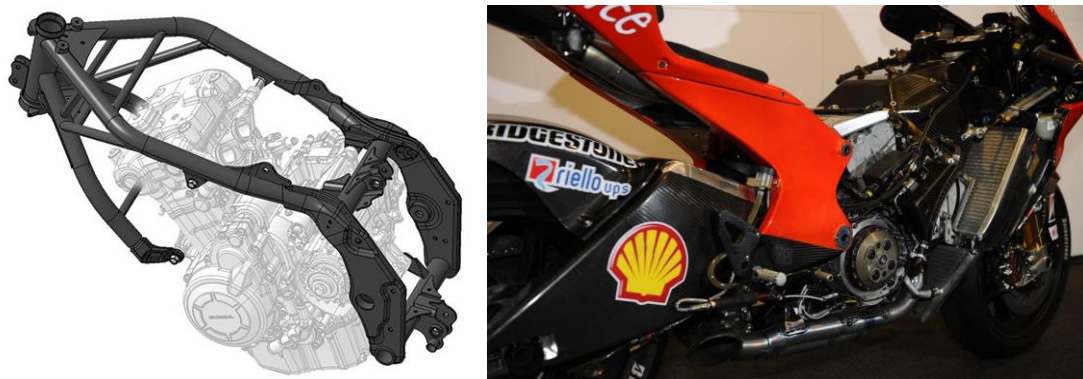


Ilustración 76 – Muestras de los chasis más favorables (doble cuna abierta y auto-portante)

5.6 PROPUESTA DE DISEÑO SELECCIONADA PARA EL CHASIS

El diseño que se propone es el un chasis tubular basado en los dos tipos de chasis que resultaron más favorables en las comparativas del apartado anterior:

Auto-portante

Tendrá como objetivo la sencillez y ligereza que aporta ese diseño. Además el hecho de estar unido al motor le proporciona una buena rigidez y un gran atractivo estético ya que son diseños poco comunes (*Ilustración 77*).



Ilustración 77 - Chasis Britten (auto-portante)

Doble cuna abierta

El objetivo de este diseño es proporcionar las mismas características dinámicas que un doble viga. La dificultad será conseguir tensiones aceptables que permitan garantizar la seguridad estructural (*Ilustración 78*).



Ilustración 78 - Chasis KTM (doble cuna abierto)

5.7 CARGAS PARA EL ANÁLISIS

Para realizar los cálculos y obtener los valores necesarios para la simulación, se realizó una estimación de la masa del conjunto y se aplicó un coeficiente de seguridad del 20%:

- $m_{\text{moto}} = 95 \text{ Kg} \times 1,2 = 114 \text{ Kg}$
- $m_{\text{piloto}} = 70 \text{ Kg} \times 1,2 = 84 \text{ Kg}$
- $m_{\text{conjunto}} = 198 \approx 200 \text{ Kg}$

Por lo tanto, teniendo en cuenta estas estimaciones, los valores de las cargas son:

Las cargas

Las cargas a las que se someterán los elementos serán.

- *Cargas que se provocan al frenar:*

$$N = (m_{\text{moto}} + m_{\text{piloto}}) \times g = 2000 \text{ N}$$

$$F_r = \mu \times N = 2400 \text{ N}$$

- *Cargas que se provocan en la entrada en curva:*

$$F_l = (m_{\text{moto}} + m_{\text{piloto}}) \times g = 2000 \text{ N}$$

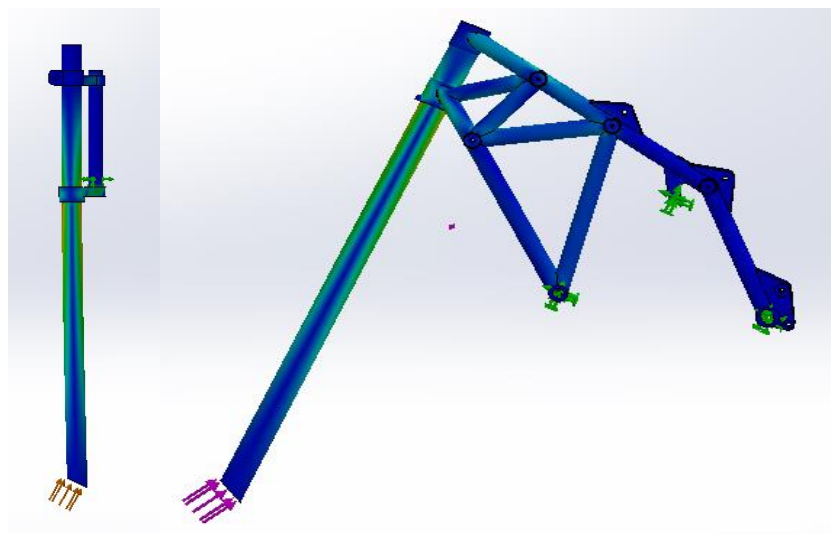


Ilustración 79 –Aplicación de las cargas de frenada para la simulación

5.8 DISEÑO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: LA TIJA

Para empezar a realizar el diseño de la tija hay que obtener las bases geométricas de partida que nos dan los elementos de uso obligatorio. Como ya comentamos en apartados anteriores, la tija inferior unida a la barra de dirección, otorgada por la organización, representa la base desde la que parte el diseño y aporta una serie de restricciones que debe cumplir el diseño de la tija superior y la pipa de dirección del chasis, que se estudiarán a continuación.



Ilustración 80 – Diseño original de la tija superior YZF 125 R

Tija inferior - barra dirección

La tija inferior, elemento del que partimos, presenta el siguiente aspecto (*Ilustración 81*), como ya vimos en el apartado “5.2 ELEMENTOS INICIALES OBLIGATORIOS” tiene una distancia entre horquillas de 174 mm y el valor del offset respecto de la barra de dirección es de 40 mm además tiene un grosor de 16 mm. La barra de dirección, a la que va unida, tiene una longitud de 240 mm. Esta barra presenta una serie de variaciones de diámetro y roscas en su tramo final que deberán ser estudiados y analizaremos más adelante.

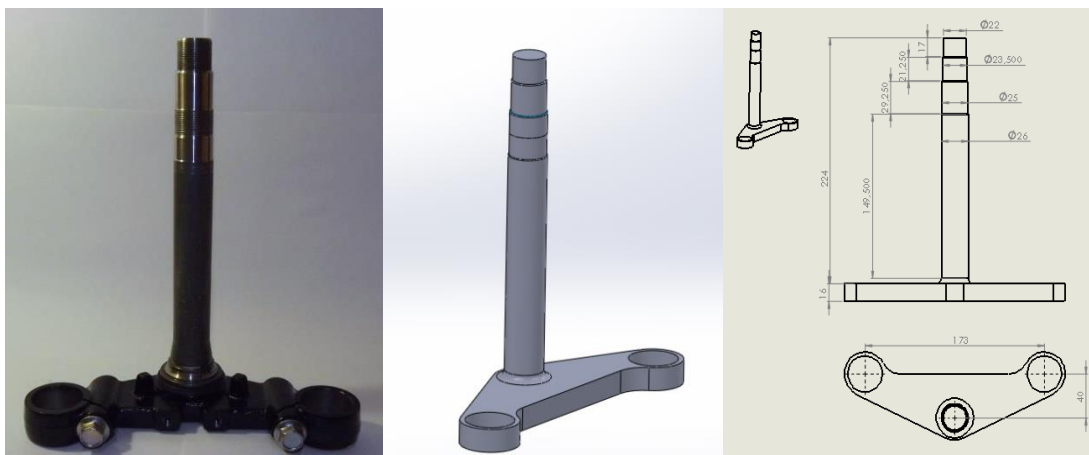


Ilustración 81 - Tija inferior modelada SolidWorks

Columna de dirección

En primer lugar se estudiará la estructura de la barra para determinar la función y el elemento que ocupará cada parte. Si buscamos el apartado de la columna de dirección en el Catalogo de Repuestos de la motocicleta YZF 125R (*Ilustración 82*), a la cual pertenece la tija proporcionada por la organización, podemos encontrar un esquema de todos los elementos que forman la columna de dirección.

Se aspira a formar una columna de dirección eficiente y lo más parecida a la columna Yamaha de la que partimos (*Ilustración 82*), tomando geometrías de referencia para simplificar al máximo posible esta fase del diseño. El esquema a conseguir, mantendría la posición y orden de la tija inferior – barra de dirección. El rodamiento inferior (1) y el superior (2) (3) (4) se encontrarían insertados, respectivamente en sus posiciones, en el interior de la pipa de dirección del chasis. La pipa será introducida en la barra de dirección. Se colocara el guardapolvo (5) en la parte superior de la pipa, como en la columna original, para proteger el rodamiento superior de la suciedad y posibles daños. El conjunto de dos tuercas y dos arandelas de la columna original (6) (7) (8), pasa a ser un conjunto de separador, arandela, tuerca de fijación y arandela. Posteriormente se introducirá la tija superior en la barra de dirección. Cerrando la columna, como en la original tenemos la arandela y la tuerca de terminación (10) (11).

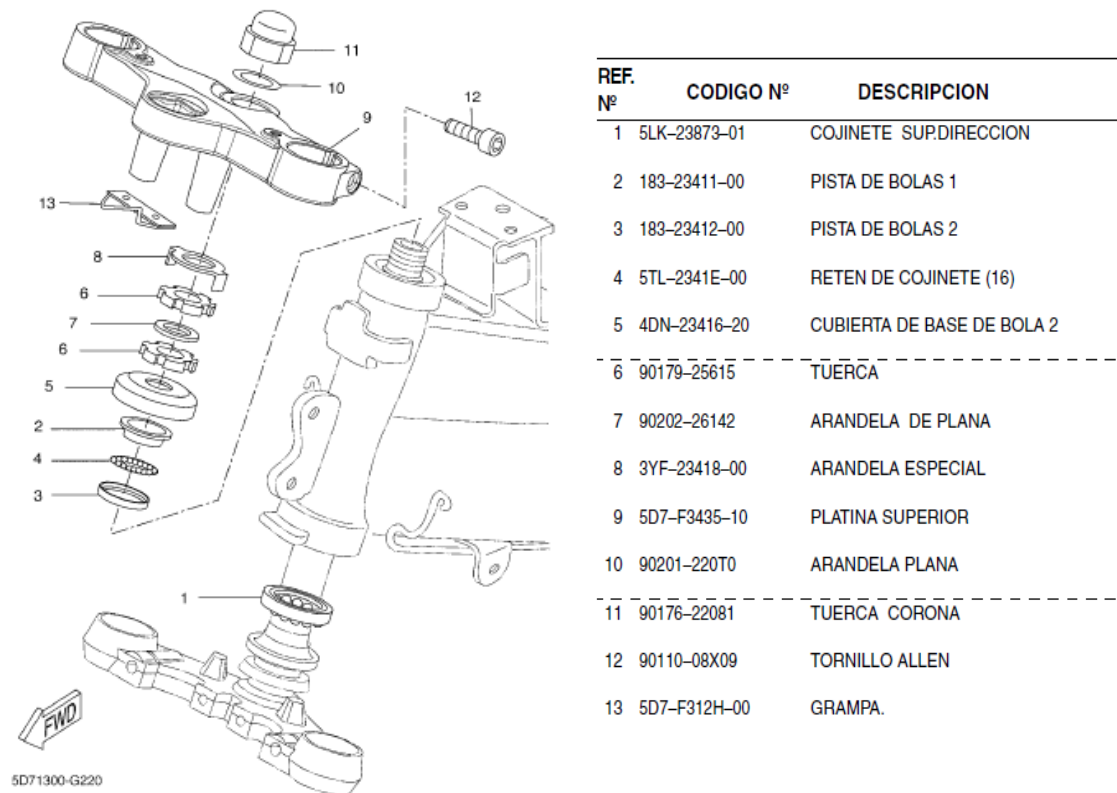


Ilustración 82 – Apartado dedicado a la columna de dirección en el Catalogo de Repuestos YZF 125R [3]

La barra de dirección de 26 mm de diámetro tiene en su parte inferior una zona pulida que hace la función de pista para el cojinete inferior de la pipa (1), como podemos ver en la *Ilustración 83*.



Ilustración 83 - Zona pulida de la barra de dirección, ejerciendo de pista inferior para cojinete

Estos cojinetes tienen medidas especiales y no se encuentran en ningún catálogo comercial de rodamientos, por lo que se compró el repuesto original de Yamaha (*Ilustración 84*). El rodamiento inferior consta del retén de bolas y una pista superior (5LK-23873-01), ésta última con 48 mm de diámetro exterior que será el que se inserte y fije en el interior de la pipa del chasis. El rodamiento superior está compuesto por su pista de bolas inferior (183-23412-00), el retén del cojinete (5TL-2341E-00) y la pista de bolas superior (183-23411-00). La pista de bolas inferior tiene 48 mm de diámetro exterior que será la que se inserte y fije en el interior de la pipa del chasis. La pista de bolas superior tiene 25 mm de diámetro interior que será la que se inserta en la primera variación de diámetro de la barra de dirección, quedando fijada a ella.



Ilustración 84 – Rodamiento superior de bolas de la dirección

Para entender la función que tiene cada una de las variaciones de diámetro y rosca que sufre, en la parte superior, la barra de dirección estudiaremos y desarrollaremos la ocupación de cada una de ellas.

En la primera variación de diámetro la barra pasa a tener 25 mm, en la cual tenemos una primera zona lisa y una segunda roscada. En la primera zona es donde se ubica el rodamiento superior de la pipa de dirección, como hemos visto en el apartado anterior, donde se fijará la pista superior del rodamiento superior. La segunda zona que esta roscada (M25 x 1), está destinada a la ubicación del conjunto formado por el separador, arandelas y tuerca de fijación. Ambos elementos serán de diseño y fabricación propia (*Ilustración 85*). Dicha tuerca es la encargada de fijar la posición de la pipa del chasis para evitar movimientos a lo largo del eje y que el trabajo de giro que realizan los rodamientos sea eficaz y fluido.

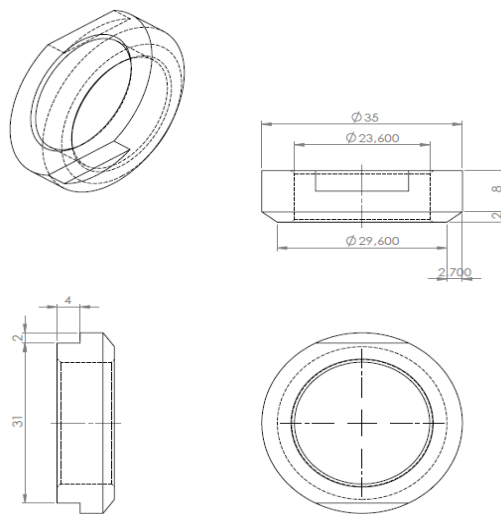


Ilustración 85 – Plano de diseño de la tuerca de fijación

Después pasa a tener un diámetro de 23,5 mm y de apariencia lisa que será el espacio destinado a la tija superior. Y por último la parte de 21,5 mm de diámetro y apariencia roscada (M21,5 x 1) donde se ubica la tuerca de terminación que cierra la barra de dirección, que será de diseño y fabricación propia (*Ilustración 86*).

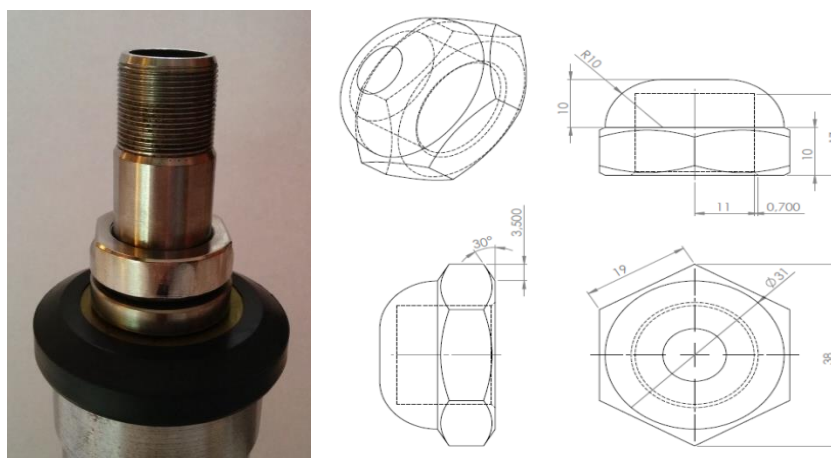


Ilustración 86 – Último tramo de la barra de dirección y el diseño de la tuerca de terminación

El esquema de la apariencia final de la columna de dirección de nuestra motocicleta será la que se muestra a continuación en la *Ilustración 87*.

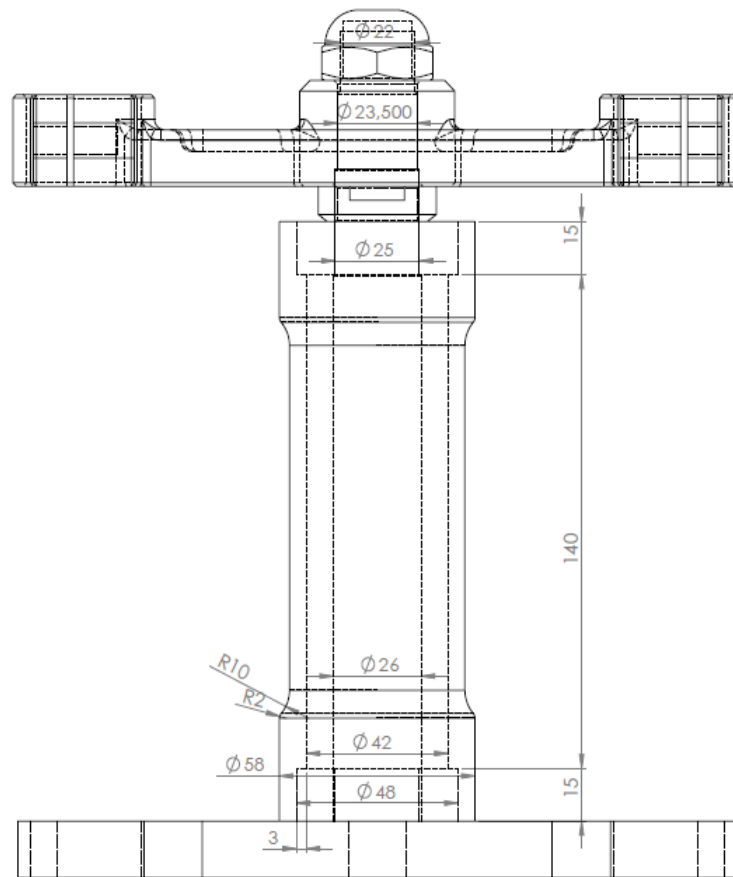


Ilustración 87 – Plano y diseño de la columna de dirección de fabricación propia

Bases geométricas de partida

Después de analizar y establecer cada uno de los elementos que componen la barra de dirección, conocemos todas y cada una de las restricciones geométricas que debe cumplir nuestra tija superior.

- distancia entre horquillas de 174 mm
- diámetro para las horquillas de 33 mm
- offset respecto de la barra de dirección de 40 mm
- el eje de dirección de la tija debe tener un diámetro interior de 23,5 mm
- el eje de dirección de la tija debe tener un grosor de 30 mm

5.8.1 EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS EN EL PROCESO DE DISEÑO (TIJA)

La tija debe partir de un diseño de líneas sencillas y cumplir las restricciones necesarias que definen las bases geométricas de partida. Para darle mayor rigidez se otorga mayor grosor a los ejes de sujeción de las horquillas y la dirección. Con la finalidad de conseguir mayor ligereza, que es una de las principales necesidades de todo elemento en un vehículo de competición, se realiza un vaciado en la superficie de la tija, dejando las líneas de unión entre los ejes sin modificar para evitar que afecte a la rigidez. Tomando esto como base, el diseño de la tija va sufriendo una evidente evolución a lo largo del tiempo, como se muestra en la *Ilustración 88*. Dicha evolución se desarrollara a continuación.



Ilustración 88 – Esquema de la evolución del diseño de la tija

Diseño 1.0

Este diseño inicial (*Ilustración 89*) se basa en líneas sencillas que cumplen las restricciones geométricas necesarias que impone la tija inferior:

- distancia entre horquillas de 174 mm
- diámetro para las horquillas de 33 mm
- offset respecto de la barra de dirección de 40 mm

Se toma como grosor de referencia el mismo que tiene la tija inferior (16 mm).

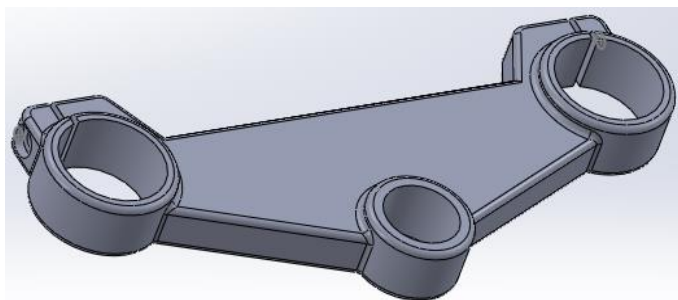


Ilustración 89 - Diseño modelado de la tija 1.0

Diseño 2.0

En este caso el diseño es una optimización del diseño inicial (*Ilustración 90*) que aumentando el grosor hasta los 30 mm trata de mejorar la resistencia a las tensiones que sufrirá en frenada. Además se ha aumentado el diámetro de la zona de dirección.

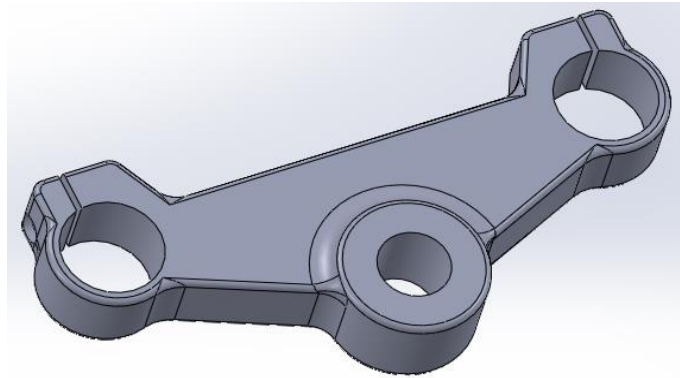


Ilustración 90 - Diseño modelado de la tija 2.0

Diseño 3.0

El diseño de la tija, Diseño 3.0, mejora el acabado final tratando de unir las características de los diseños anteriores: el grosor de 16 mm para la tija, el grosor de 30 mm para zonas críticas como son los ejes de dirección y horquillas, se aumenta el diámetro en la zona del eje de dirección. Además para aumentar la ligereza se realiza un vaciado en la superficie de la tija sin debilitar las líneas de unión entre los ejes para evitar que afecte a la rigidez.

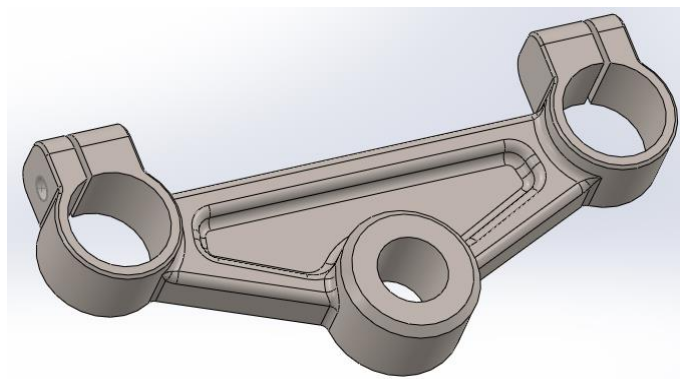


Ilustración 91 - Diseño modelado de la tija 3.0

5.8.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS DISTINTOS MODELOS (TIJA)

Como vimos en el apartado “4.5 CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS” en el análisis preliminar de los distintos diseños de la tija se realiza una simulación de los esfuerzos en frenada. Ésta es la situación más desfavorable y se toma este análisis para realizar una comparativa del comportamiento de los modelos y poder realizar una selección acertada.

En el apartado citado se determina que las fuerzas que se soporta en frenada son:

- Fuerza Normal: se produce en el punto de contacto entre el suelo y el neumático.
- Fuerza de Rozamiento: se origina en el punto de contacto entre la rueda y el asfalto.

Posteriormente en el apartado “5.7 CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS” se determina que estas fuerzas toman los valores de 2000 N en el caso de la Fuerza Normal y de 2400 N para la Fuerza de Rozamiento.

Para llevar a cabo la simulación de los esfuerzos y desplazamientos que sufrirá las horquillas y la tija, se coloca una restricción total en el eje de la barra de dirección y se introducen los valores de las características que el programa requiere correspondientes al aluminio 5038 (H111).

Siguiendo estas condiciones se procede a desarrollar los análisis de frenada de cada uno de los diseños y la posterior comparativa.

Diseño 1.0

En el análisis MEF preliminar de la tija, Diseño 1.0 (*Ilustración 92*), se realiza una simulación en frenada en la que se puede apreciar que la tija sufre tensiones en la zona del eje de dirección alrededor de $65.000.000 \text{ N/m}^2$.

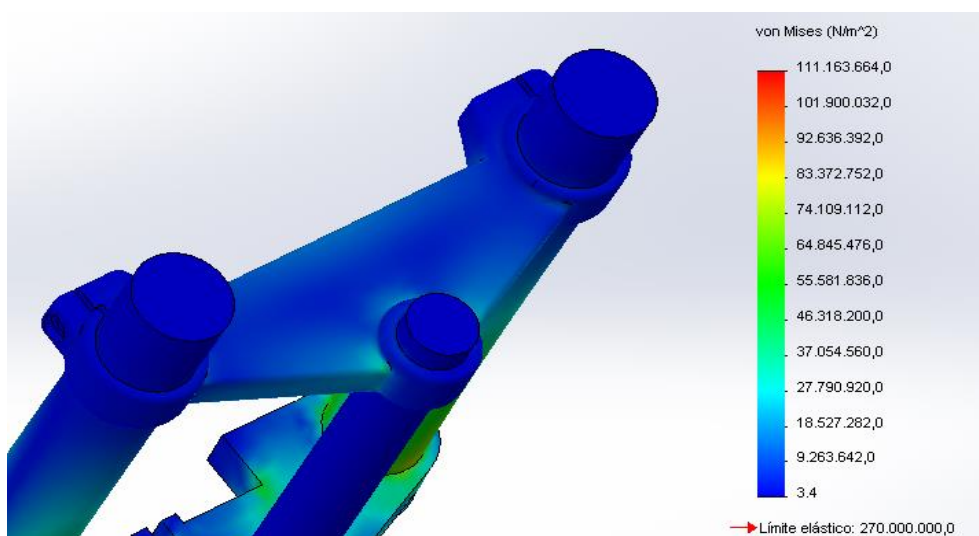


Ilustración 92 - Análisis MEF del diseño 1.0 de la tija, simulación en frenada

Diseño 2.0

Observando el análisis MEF de la tija, Diseño 2.0 (*Ilustración 93*), en las mismas condiciones que en caso anterior, es decir en frenada, se observa que las tensiones en la zona del eje de dirección que sufre este diseño optimizado de la tija disminuyen hasta un valor aproximado de 50.000.000 N/m².

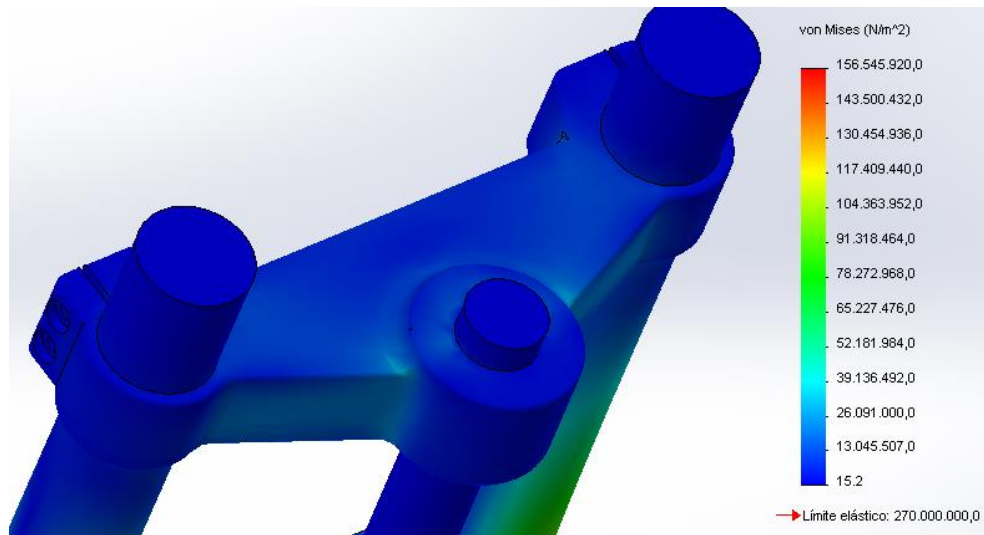


Ilustración 93 -Análisis MEF del diseño 2.0 de la tija, simulación en frenada

Diseño 3.0

El análisis MEF de la tija, Diseño 3.0 (*Ilustración 94*), confirma que ya la tensión en la zona del eje de dirección vuelve a disminuir sufriendo tensiones, en este último caso, alrededor de 35.000.000 N/m².

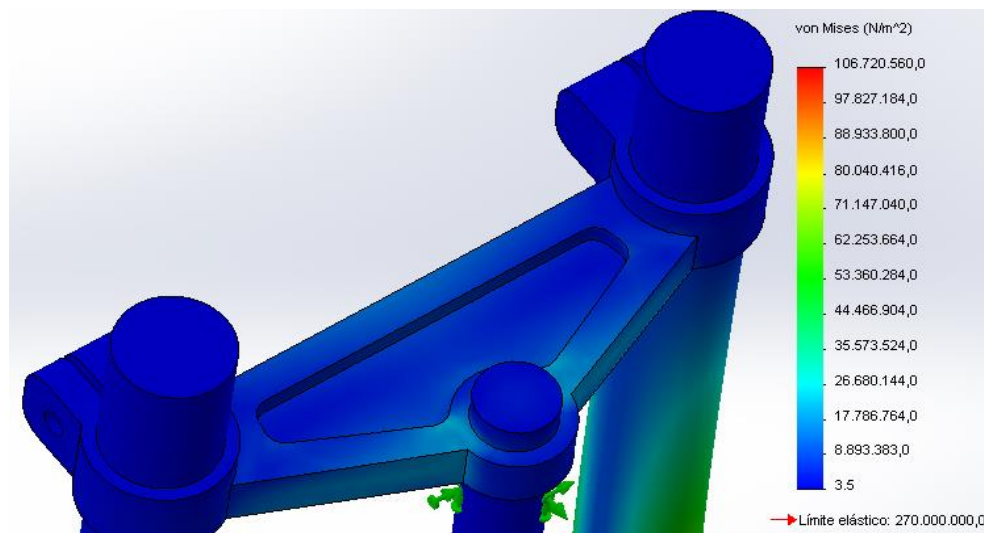


Ilustración 94 - Análisis MEF del diseño 3.0 de la tija, simulación en frenada

Como hemos comentado anteriormente el diseño de la tija sufre una evolución y los modelos sufren variaciones con la intención de realizar optimizaciones, para mejorar el comportamiento de la pieza frente a las tensiones que pueda sufrir. Para verificar que la optimización del diseño se ha realizado correctamente, se efectúa la comparativa de los resultados de los análisis MEF de cada uno de los diseños de la tija, como se puede ver en la siguiente tabla (*Tabla 9*).

COMPARATIVA ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA TIJA		
	Tensión máx. soportada Von Mises	Peso
Diseño 1	65.000.000 N/m ²	575,53 gramos
Diseño 2	50.000.000 N/m ²	683,58 gramos
Diseño 3	35.000.000 N/m ²	332,99 gramos

Tabla 9 - Comparativa de los resultados de los análisis MEF de los diferentes diseños de la tija

5.8.3 SELECCIÓN DEL MODELO PROPUESTO MÁS FAVORABLE (TIJA)

El diseño seleccionado para la tija será el Diseño 3.0 (*Ilustración 95*) ya que presenta el mejor comportamiento y resistencia a las tensiones que debe soportar la tija, además de un acabado altamente estético y una gran ligereza que resulta crucial en todos los elementos que componen una motocicleta de competición.

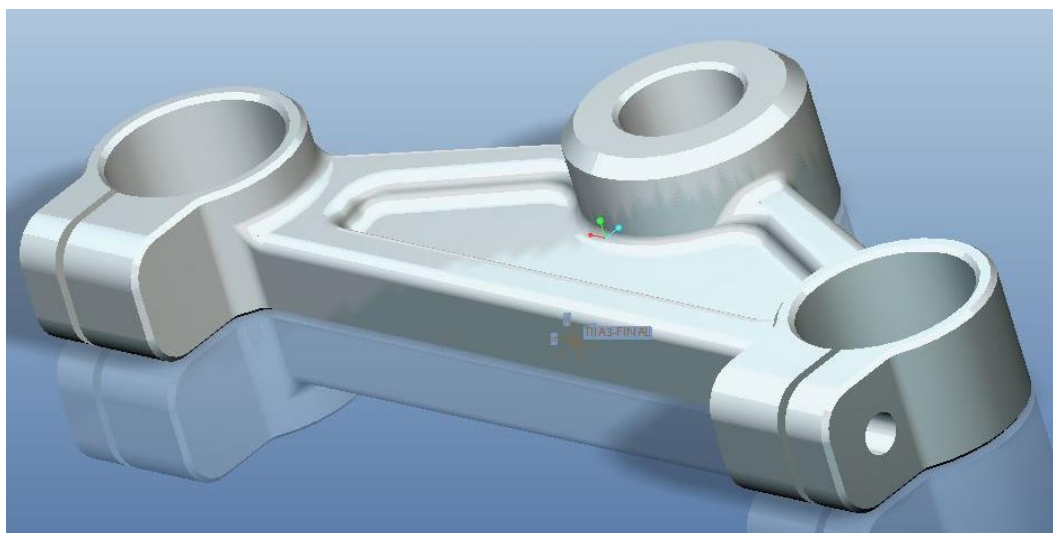


Ilustración 95 - Modelado en Pro Engineer de la tija propuesta (Diseño 3.0)

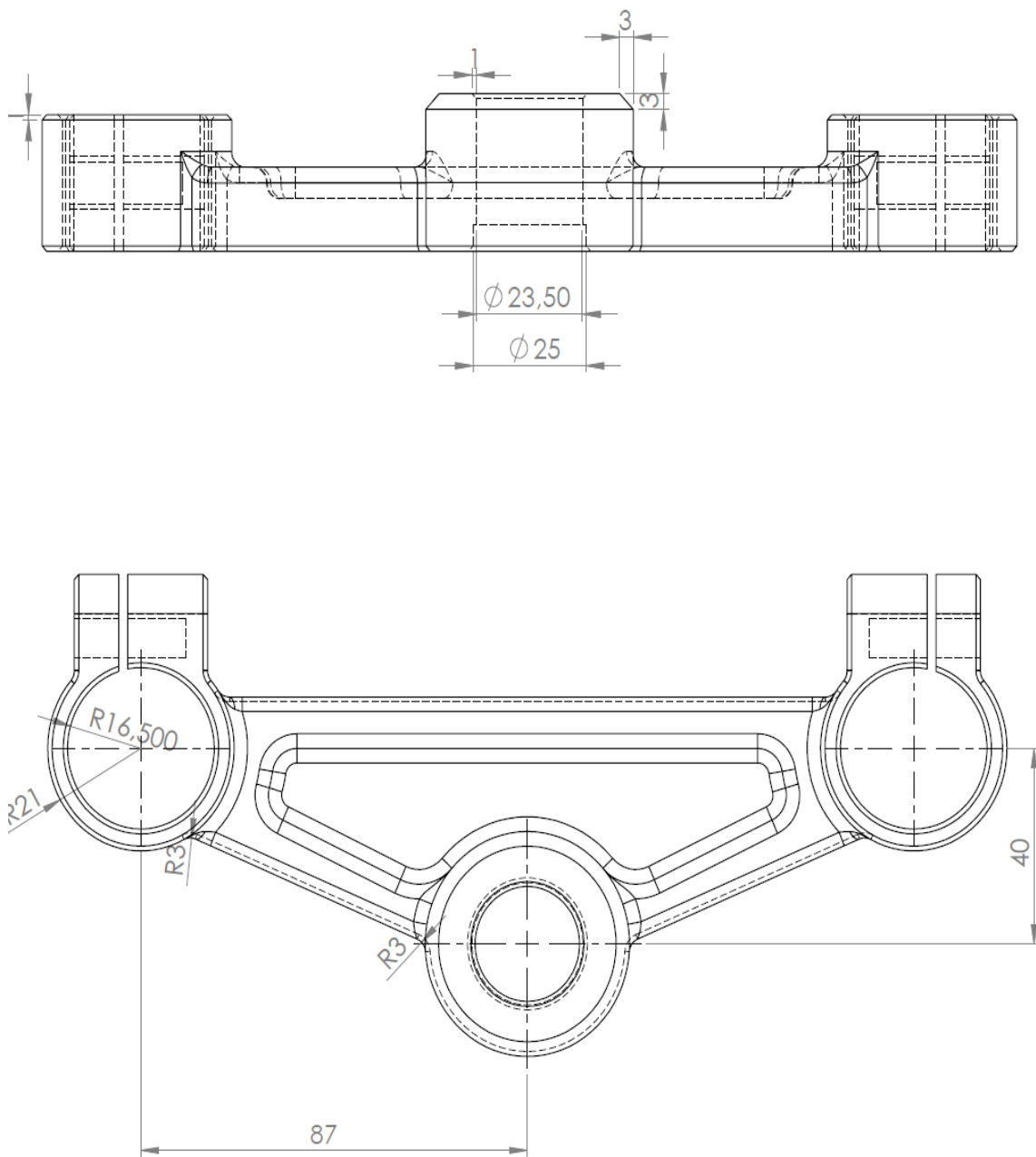


Ilustración 96 - Planos definitivos de la tija propuesta (Diseño 3.0)

5.9 DISEÑO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: EL CHASIS

Para empezar a realizar el diseño del chasis partimos del boceto 2D que obtuvimos en el apartado “5.3 BOCETO: MODELO 2D” siguiendo las restricciones geométricas que nos dan los elementos de uso obligatorio. Además ya vimos en el apartado “5.8 DISEÑO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: LA TIJA” el esquema que debe seguir la columna de dirección al que pertenece la pipa, parte esencial del chasis y de la dirección de la motocicleta, se detalla a continuación en la *Ilustración 97*:

Pipa de dirección

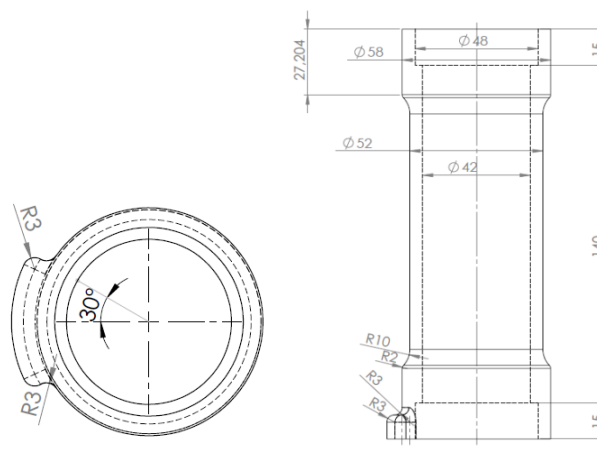


Ilustración 97 – Plano de diseño de la pipa de dirección del chasis

La pipa tiene una longitud de 170 mm y un diámetro de 52 mm, en la zona central y 58 mm en los extremos superior e inferior, aligerando la pieza lo máximo posible sin debilitar los extremos que será donde más esfuerzos sufrirá la pipa. El diámetro interior es de 42 mm incluyendo el espacio superior e inferior necesario, donde van acoplados los rodamientos de dirección (diámetro 48mm y una altura de 15 mm). La pipa incluye un saliente de 60 grados, alrededor del extremo inferior, que hace la función de tope en el giro cuando choca con el saliente que tiene la tija inferior, como se visualiza en la *Ilustración 98*.



Ilustración 98 – Choque de los topes de la tija inferior y pipa de dirección que acotan el giro

Eje chasis-basculante-motor

En colaboración con el departamento de basculante del equipo UC3Moto se determinó la geometría del eje de unión entre el chasis y el basculante, que además incluirá el anclaje trasero del motor, como se detalla en la *Ilustración 99*.

El chasis deberá tener en el eje de unión piezas de un diámetro de 40 mm y longitud 40 mm, un diámetro interior de 18 mm, donde ira alojado el eje y alojamientos internos de 25 mm de diámetro donde encajaran a un lado la tuerca del eje y al otro el casquillo de unión chasis basculante. Es conjunto del eje y casquillo ira por el interior de la pieza del basculante que tendrá un diámetro de 42 mm y longitud de 75 mm. Entre la pieza del basculante y el conjunto eje-casquillo, tenemos los rodamientos SKF HK 2520. El eje finalmente queda determinado uniendo de interior a exterior: motor, basculante y chasis, y entre todos ellos tenemos arandelas de material especial para soportar la fricción de la amortiguación.

1. *Eje chasis-basculante*
2. *Motor Yamaha WR250*
3. *Casquillo chasis-basculante*
4. *Rodamiento SKF HK 2520*
5. *Basculante*
6. *Arandelas*
7. *Chasis*

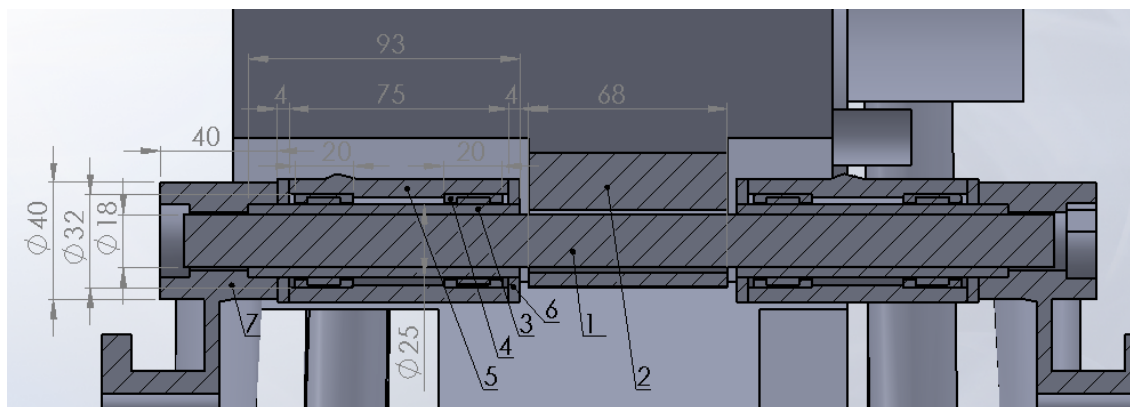


Ilustración 99 - Esquema de la geometría del eje chasis-basculante-motor

5.9.1 EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS EN EL PROCESO DE DISEÑO (CHASIS)

El diseño del chasis debe estar formado por un entramado de tubos que una los puntos de interacción de los elementos de uso obligatorio, de la forma más sencilla posible. Un diseño sencillo reducirá el peso, cuestión de vital importancia en competición, y facilitará su fabricación. Tomando esto como base, el diseño del chasis va sufriendo una evidente evolución a lo largo del tiempo, como se muestra en la *Ilustración 100*. Dicha evolución se desarrollará a continuación.

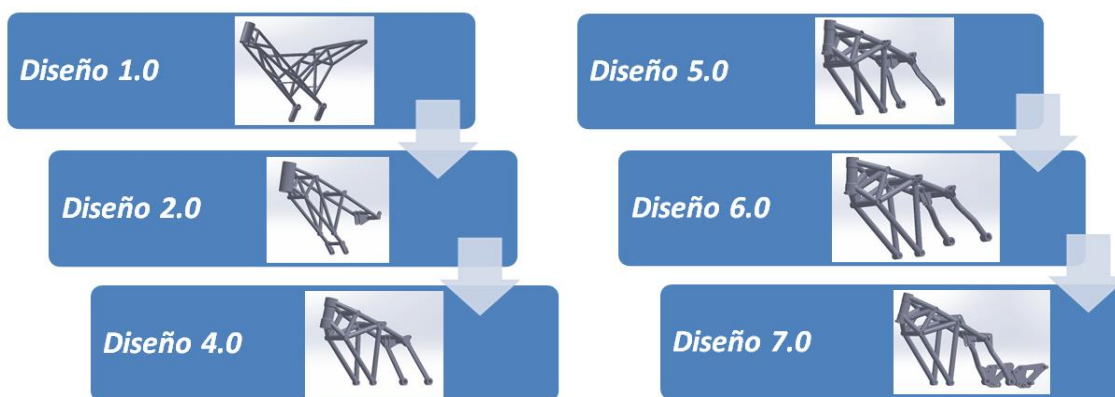


Ilustración 100 – Esquema de la evolución del diseño del chasis

Diseño 1.0

Este primer diseño (*Ilustración 101*) se trata de un chasis preliminar, realizado como muestra de un entramado de tubos capaz de unir los puntos de interacción necesarios (*Ilustración 102*). Las triangulaciones aportan la rigidez necesaria para soportar los esfuerzos a los que se verá sometido el chasis.

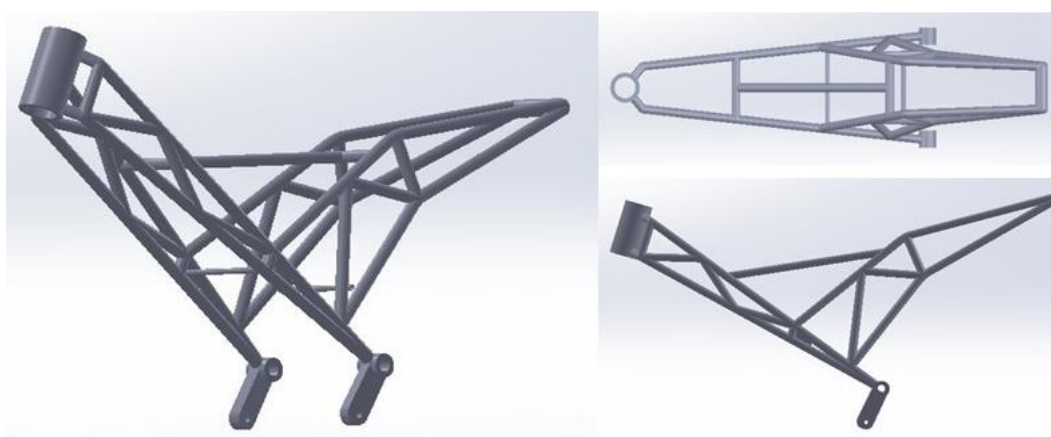


Ilustración 101 – Modelado del diseño del chasis 1.0

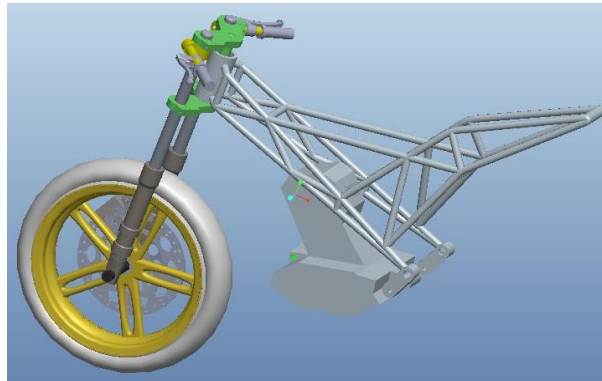


Ilustración 102 - Modelado del conjunto formado por el diseño del chasis 1.0

Diseño 2.0

Este diseño representa un chasis de diseño básico (*Ilustración 103*) para la opción autoportante. Consta de triangulaciones sencillas pero eficientes, un estilo de unión (tipo multiline) y una distribución innovadora para un estilo de suspensión trasera tipo Britten (*Ilustración 104*).

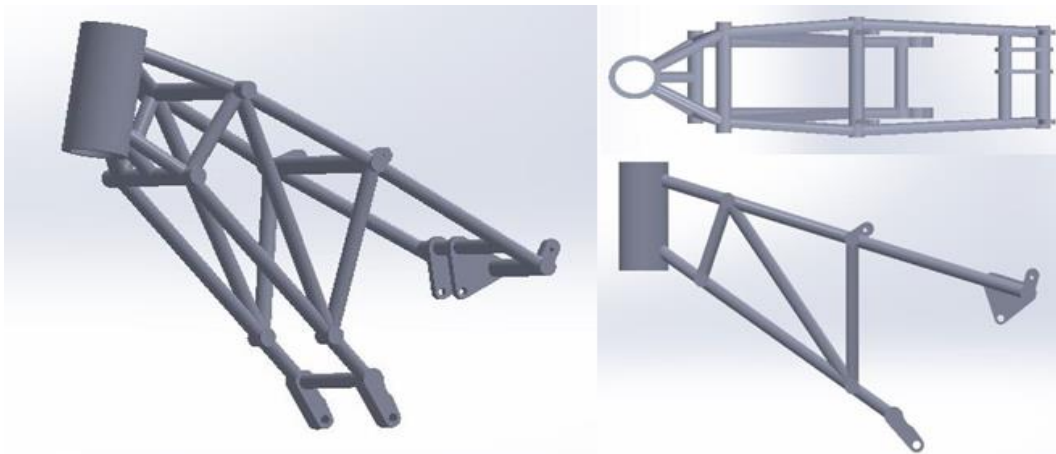


Ilustración 103 – Modelado del diseño del chasis 2.0

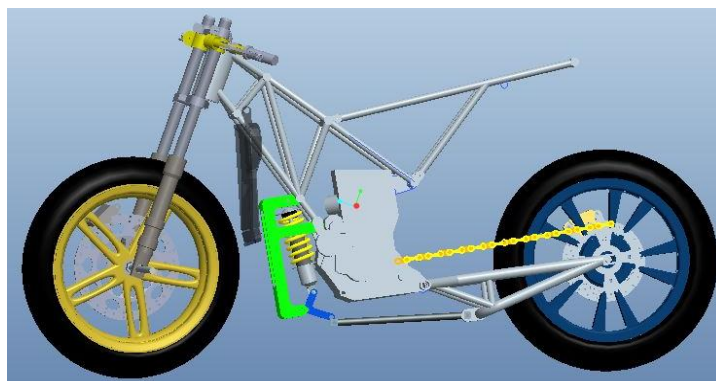


Ilustración 104 - Modelado del conjunto formado por el diseño del chasis 2.0

Diseño 4.0

Pasamos al modelo del diseño 4.0, ya que el diseño 3.0 que se realizó del chasis consistía en una optimización del diseño 2.0 y se determinó que carece de la suficiente relevancia. El modelado del diseño 4.0 es una evolución del diseño autoportante, al que añadimos un tubo rectangular en la unión trasera para crear la sujeción del eje chasis – basculante (*Ilustración 105*). Las uniones pasan a ser una mezcla entre multilínea y piezas macizas mecanizadas. La pipa y el eje de unión chasis-basculante, toman su forma y dimensiones finales, referencia base para los diseños futuros (*Ilustración 106*).

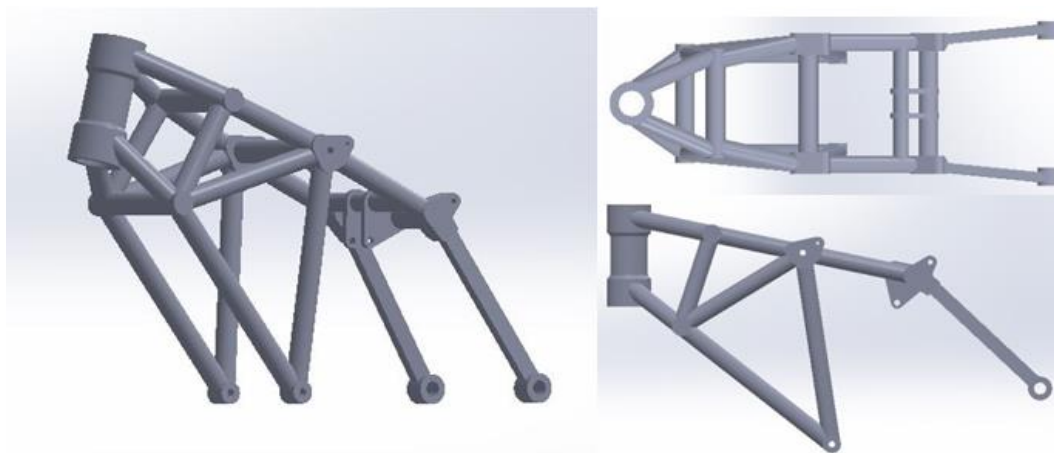


Ilustración 105 – Modelado del diseño del chasis 4.0

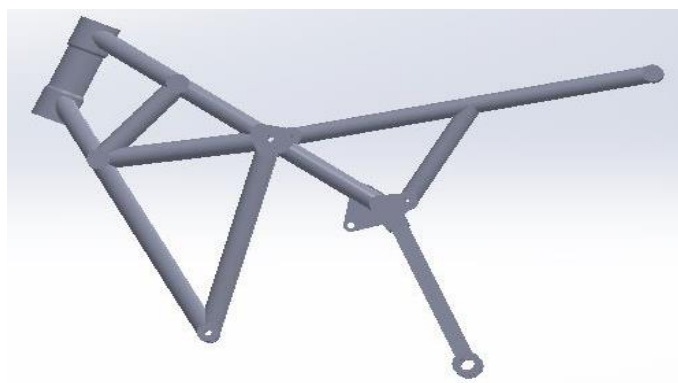


Ilustración 106 - Modelado del conjunto formado por el diseño del chasis 4.0

Diseño 5.0

Este modelo de chasis se trata de una nueva optimización que convierte el tubo rectangular en una placa mecanizada para la unión trasera (*Ilustración 107*). Las uniones pasan a ser piezas mecanizadas con un vaciado interior que reduce su peso pero no altera su rigidez. La unión inferior del chasis y la pipa añade esta vez una placa mecanizada para dejar paso al airbox y aumentar su rigidez en ese punto.

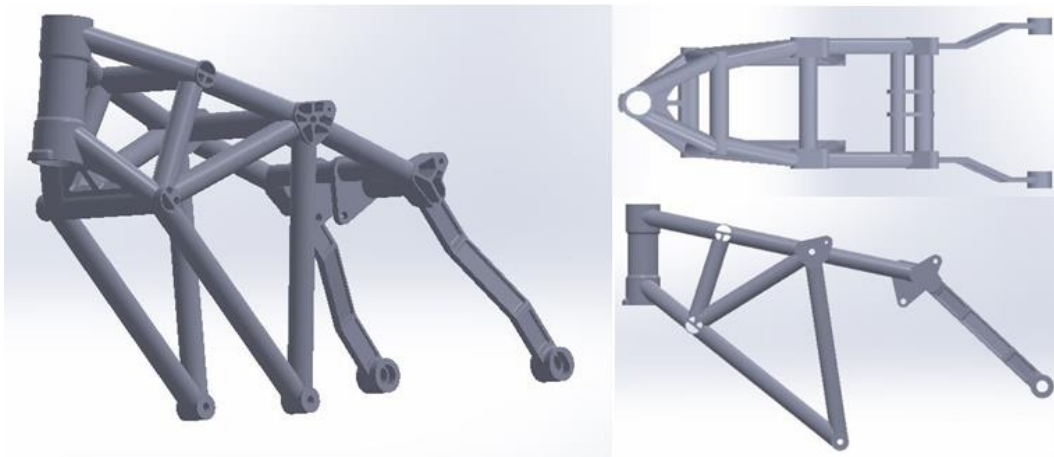


Ilustración 107 – Modelado del diseño del chasis 5.0

Diseño 6.0

Consiste en una nueva modificación que convierte la placa mecanizada en un tubo circular curvo para la unión trasera (*Ilustración 108*). Las uniones vuelven a ser una mezcla entre uniones multiline y piezas mecanizadas con un vaciado interior.

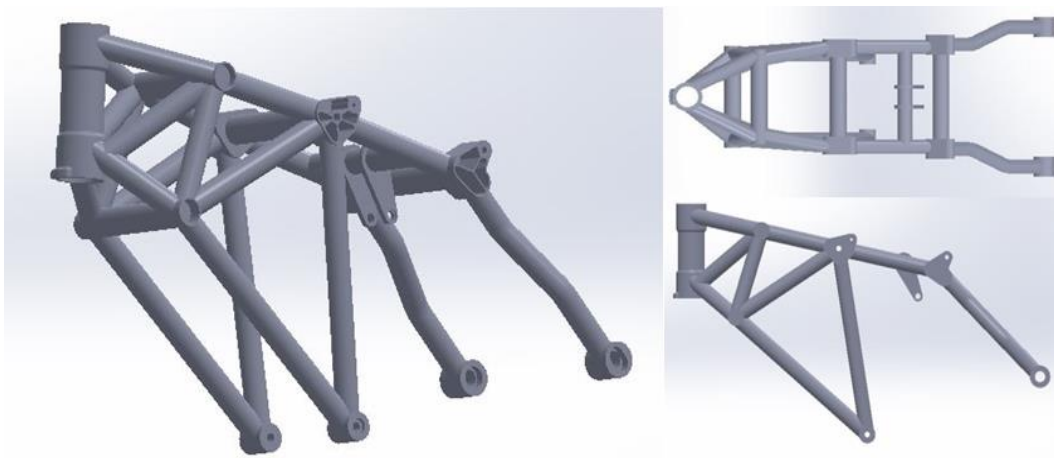


Ilustración 108 – Modelado del diseño del chasis 6.0

Diseño 7.0

La última optimización mantiene la forma y dimensiones bases, sin modificar el tubo circular curvo para la unión trasera. Como el resto del entramado el tubo tiene diámetro 30 mm y de espesor 2mm. Las uniones vuelven a ser multilínea en su totalidad y se ha simplificado los puntos de unión del subchasis (*Ilustración 109*). En este caso podemos ver el diseño ya acompañado de elementos auxiliares como estribas y el conjunto modelado de todos los elementos que forman la motocicleta (*Ilustración 110*).

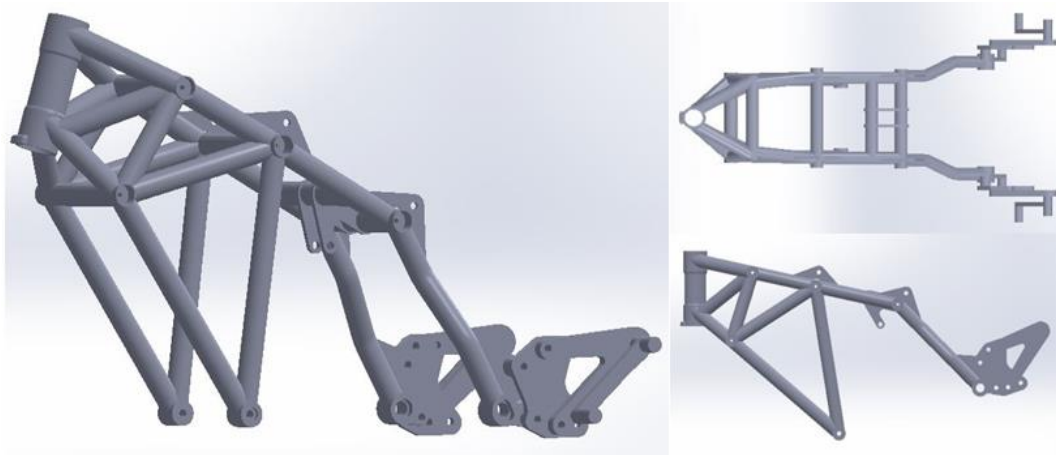


Ilustración 109 – Modelado del diseño del chasis 7.0



Ilustración 110 - Modelado del conjunto formado por el diseño del chasis 7.0

Subchasis

Así se denomina a la estructura auxiliar que sujeta indirectamente elementos de la motocicleta como son los asientos, maleta, etc. Por decirlo de alguna manera son los pilares que sujetan la parte habitable de la moto (*Ilustración 111*). La correcta colocación del punto de anclaje entre el chasis y el subchasis es de gran importancia, ya que de ello depende la integridad del piloto. El subchasis soporta el peso del piloto y debe aportarle una correcta posición cuando se encuentre a los mandos de la motocicleta. Además hay que poner especial atención en evitar el choque del subchasis con la rueda trasera, teniendo en todo momento presente el hundimiento que se produce consecuencia de la suspensión trasera.



Ilustración 111 – Subchasis elemento auxiliar de la motocicleta Kawasaki ZX 6 R

Para complementar nuestro modelo (Diseño 7.0) de chasis propuesto, se diseña un subchasis sencillo compuesto por un entramado de tubos que aportan una posición adecuada al piloto. Consta de cuatro anclajes que se atornillaran al cuerpo del chasis facilitando así su montaje y manejo.

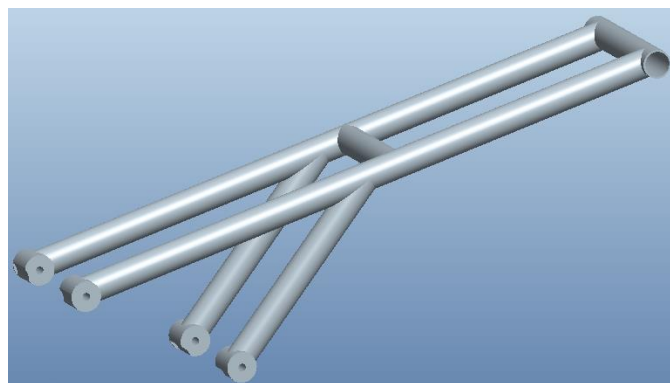


Ilustración 112 - Modelado en CAD del diseño propuesto para el subchasis

5.9.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS DISTINTOS MODELOS (CHASIS)

Al igual que en el apartado anterior “5.8.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS DISTINTOS MODELOS (TIJA)”, el análisis preliminar de los distintos diseños del chasis se realiza siguiendo el mismo proceso y sometiéndolos a las mismas fuerza tomando los idénticos valores, 2000 N en el caso de la Fuerza Normal y de 2400 N para la Fuerza de Rozamiento.

Para llevar a cabo la simulación de los esfuerzos y desplazamientos que sufrirá el entramado de tubos se colocan restricciones totales tanto en el interior como en las caras planas exteriores de los casquillos de los tres anclajes del chasis con el motor: el delantero que unirá el chasis a la placa que rodea al motor, el superior y el trasero que une el chasis, el motor y el basculante. Además se debe introducir los valores de las características que el programa requiere correspondientes al acero ST 52-3(F112).

Siguiendo estas condiciones se procede a desarrollar los análisis de frenada de cada uno de los diseño y la posterior comparativa.

Diseño 2.0

Comenzamos la fase de analisis por el modelo del chasis 2.0 ya que el diseño 1.0 se considera como un diseño preparatorio de muestra y carece de relevancia. En el análisis preliminar del chasis autoportante (Diseño 2.0), se realiza una simulación en frenada en la que se puede apreciar que el chasis sufre tensiones (*Ilustración 113*), en la zona superior de la pipa de dirección de $130.000.000 \text{ N/m}^2$ y en la zona inferior llega a los $200.000.000 \text{ N/m}^2$.

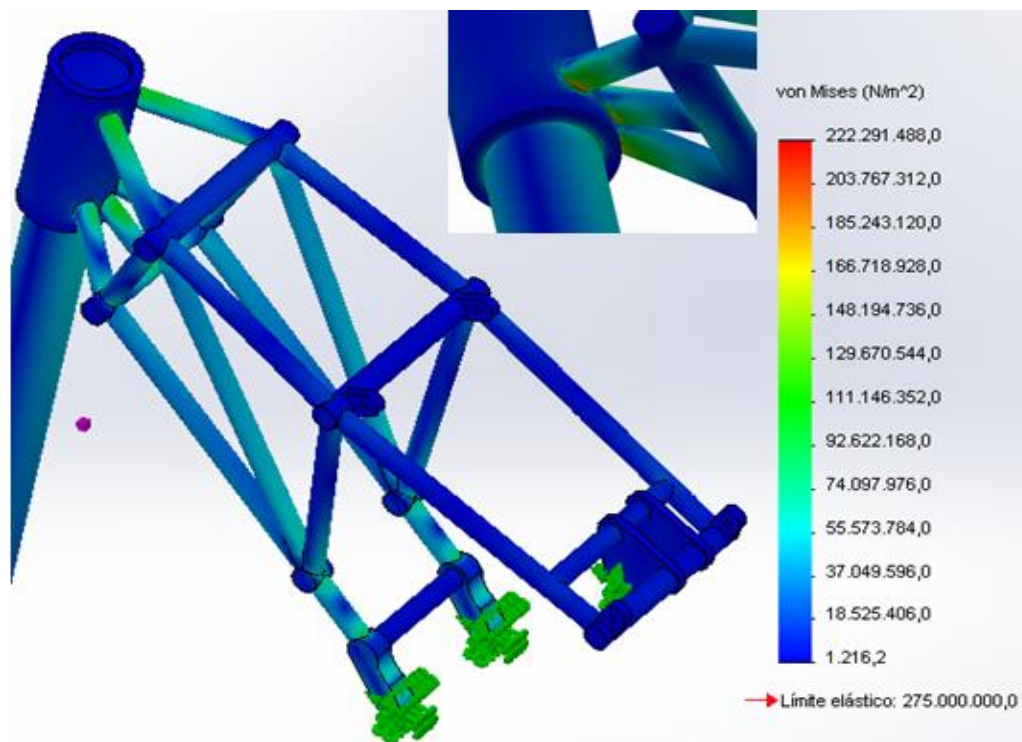


Ilustración 113 - Análisis MEF del diseño 2.0 del chasis, simulación en frenada

Diseño 4.0

En el análisis de la evolución del chasis autoportante (Diseño 4.0), se aprecia que el chasis sufre tensiones (*Ilustración 114*) en la zona superior de la pipa de dirección alrededor de $170.000.000 \text{ N/m}^2$ y en la zona inferior llega a los $290.000.000 \text{ N/m}^2$, sobrepasando el límite elástico.

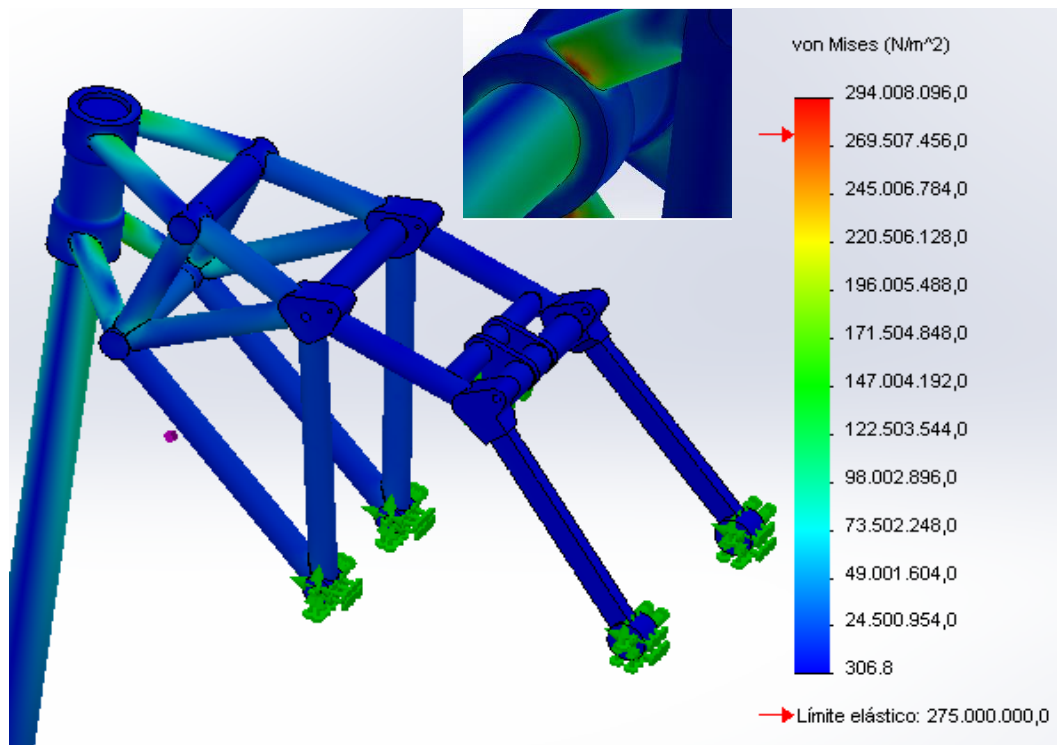


Ilustración 114 - Análisis MEF del diseño 4.0 del chasis, simulación en frenada

Diseño 5.0

El análisis de la optimización del diseño del chasis (Diseño 5.0), observamos que sufre tensiones (*Ilustración 115*) en la parte superior de la pipa de dirección de 120.000.000 N/m² y en la zona inferior llega a los 290.000.000 N/m², volviendo a sobrepasando el límite elástico.

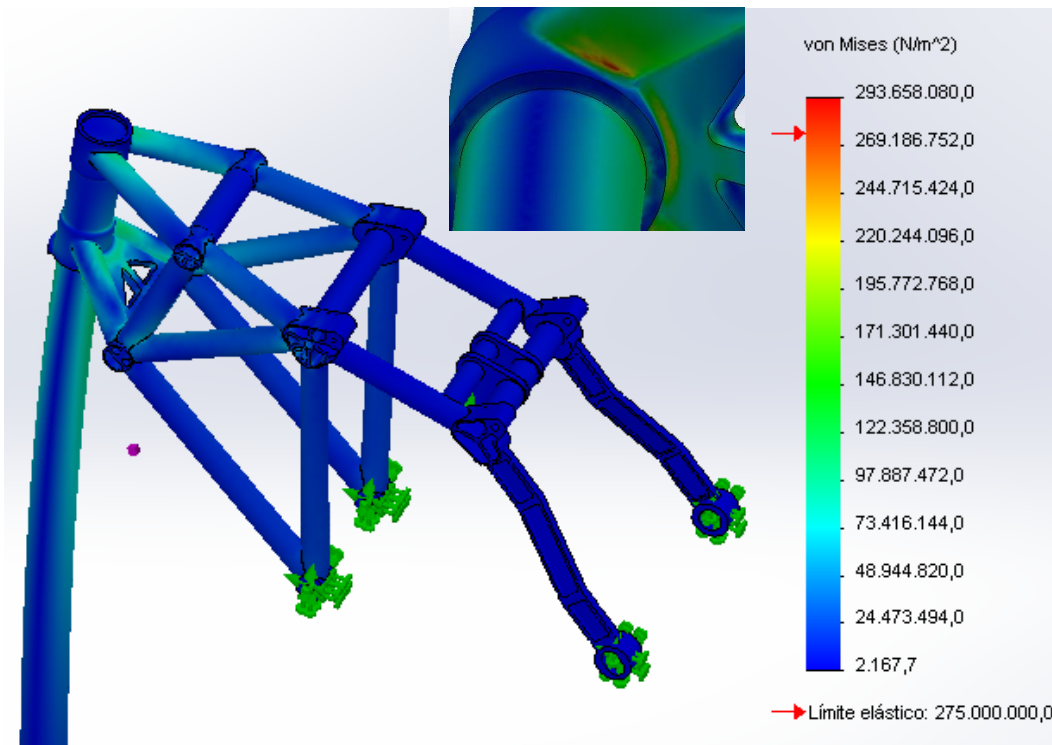


Ilustración 115 - Análisis MEF del diseño 5.0 del chasis, simulación en frenada

Diseño 6.0

La optimización del diseño (Diseño 6.0), muestra en el análisis (*Ilustración 116*) que soporta tensiones en la zona superior de la pipa de dirección alrededor de $85.000.000 \text{ N/m}^2$ y en la zona inferior llega a los $145.000.000 \text{ N/m}^2$, esta vez muy por debajo del límite elástico.

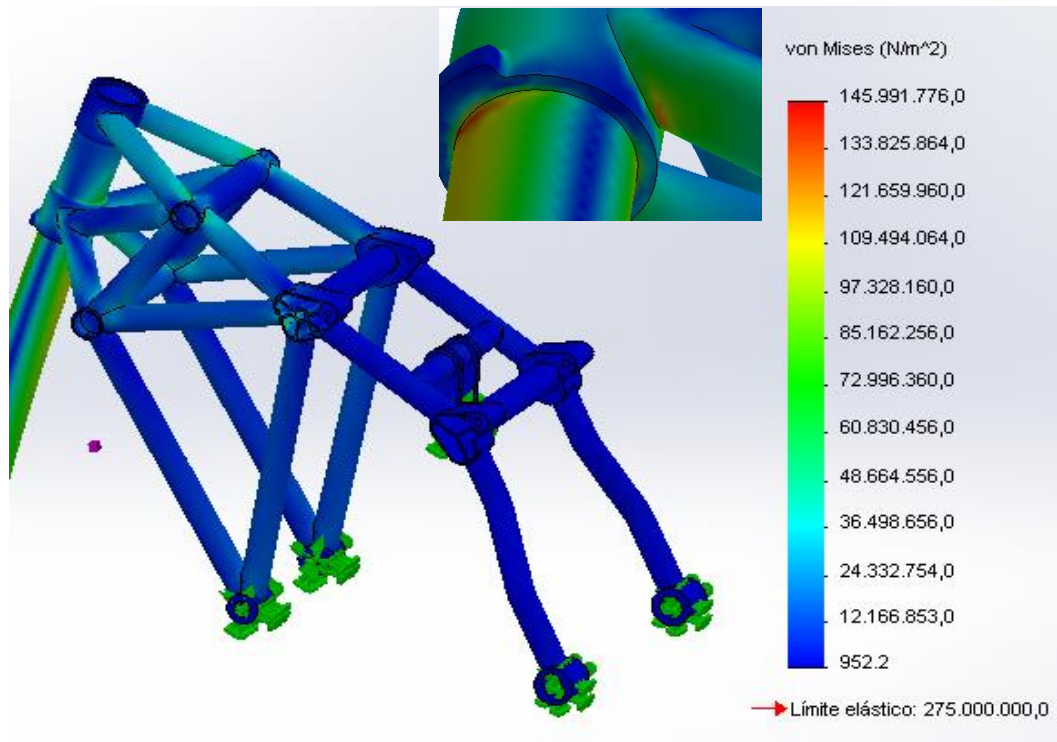


Ilustración 116 - Análisis MEF del diseño 6.0 del chasis, simulación en frenada

Diseño 7.0

El ultimo diseño del chasis (Diseño 7.0), muestra en el análisis (*Ilustración 117*) que soporta tensiones en la zona superior de la pipa de dirección alrededor de 80.000.000 N/m² y en la zona inferior llega a los 135.000.000 N/m², de nuevo muy por debajo del límite elástico.

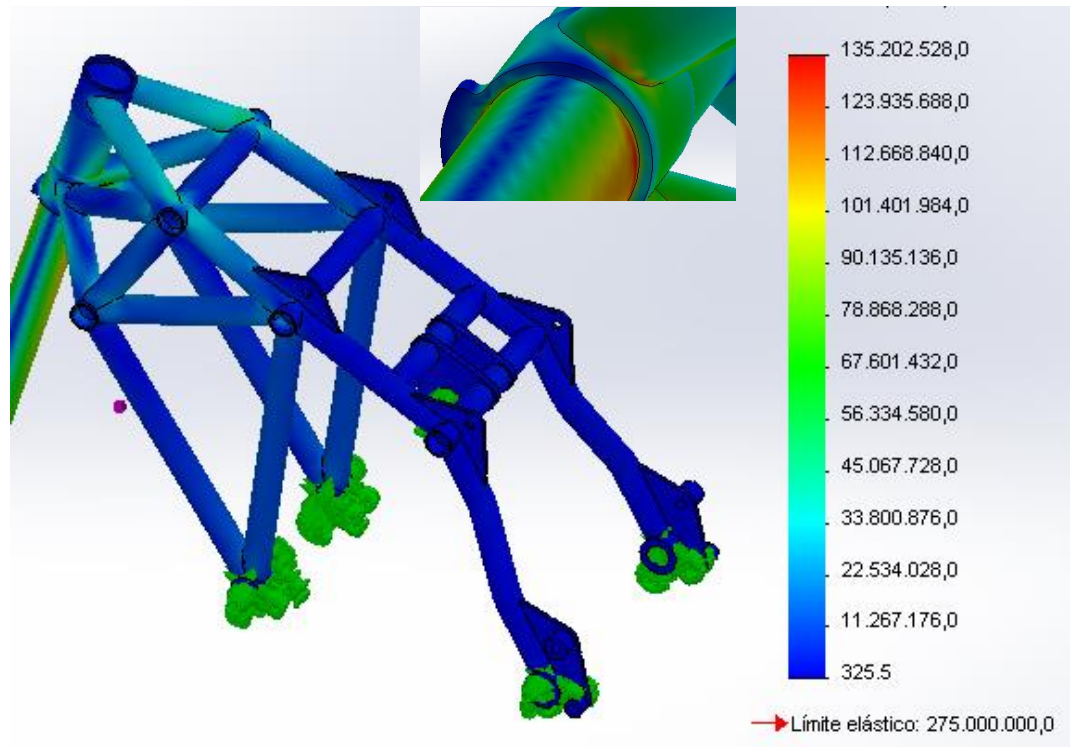


Ilustración 117 - Análisis MEF del diseño 7.0 del chasis, simulación en frenada

Como hemos comentado anteriormente el diseño del chasis sufre una evolución y los modelos sufren variaciones con la intención de realizar optimizaciones, para mejorar el comportamiento de la estructura frente a las tensiones que pueda sufrir. Para verificar que la optimización del diseño se ha realizado correctamente, se efectúa la comparativa de los resultados de los análisis MEF de cada uno de los diseños del chasis, como se puede ver en la siguiente tabla (*Tabla 10*).

COMPARATIVA ANÁLISIS PRELIMINAR CHASIS		
	Tensión máx. soportada Von Mises	Peso
Diseño 2	200.000.000 N/m ²	9071.43 gramos
Diseño 4	290.000.000 N/m ²	11381.15 gramos
Diseño 5	290.000.000 N/m ²	7677.17 gramos
Diseño 6	145.000.000 N/m ²	9482.35 gramos
Diseño 7	135.000.000 N/m ²	10138.76 gramos

Tabla 10 - Comparativa de los resultados de los análisis MEF de los diferentes diseños del chasis

5.9.3 SELECCIÓN DEL MODELO PROPUESTO MÁS FAVORABLE (CHASIS)

El diseño seleccionado para el chasis será el Diseño 7.0 (*Ilustración 118*) ya que presenta el mejor comportamiento y resistencia a las tensiones que debe soportar el chasis, además de un acabado altamente estético y una gran ligereza que resulta crucial en todos los elementos que componen una motocicleta de competición.

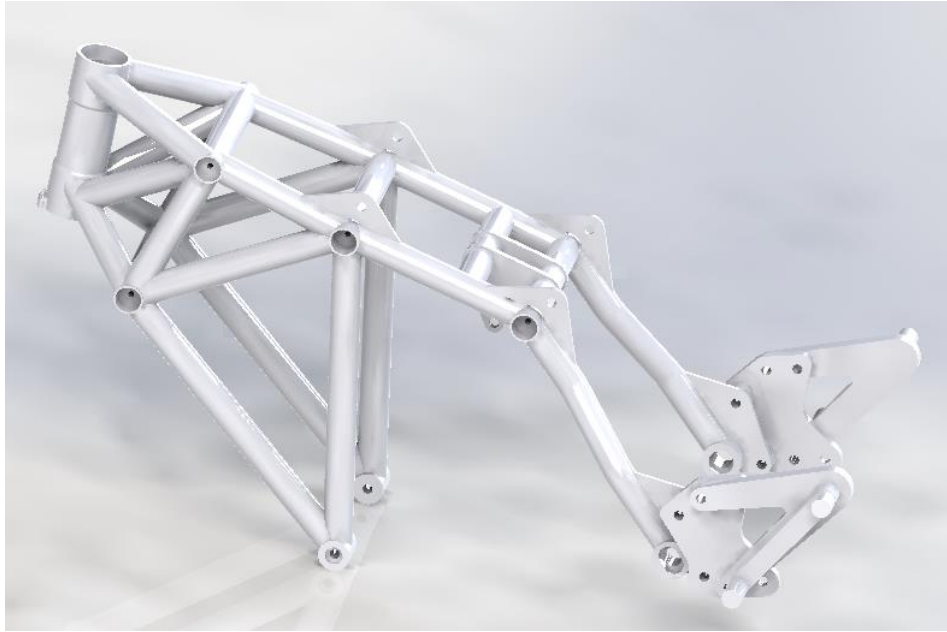


Ilustración 118 - Modelado en Pro Engineer del chasis propuesto (Diseño 7.0)

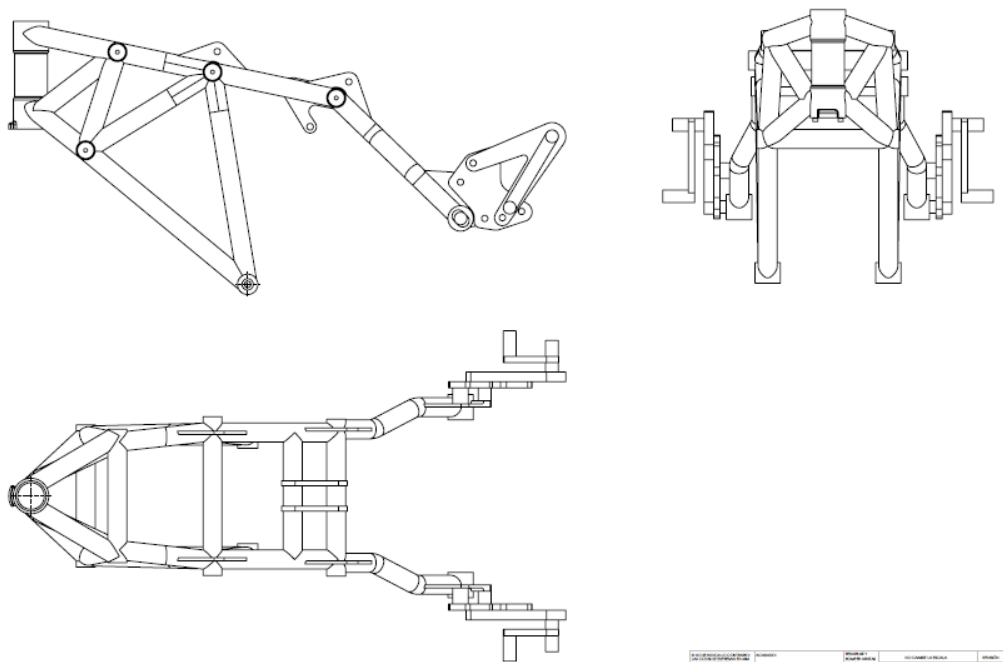


Ilustración 119 - Planos definitivos del chasis propuesto (Diseño 7.0)

6. SIMULACIÓN DE ELEMENTOS PRIMARIOS: TIJA Y CHASIS

6.1 SIMULACIÓN DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: LA TIJA

Como ya se vio en el apartado “4.5 CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS”, hasta ahora se había realizado un análisis preliminar simulando los esfuerzos que sufriría la pieza en frenada, como método de selección. Sin embargo, una vez tenemos el diseño seleccionado para ser presentado como prototipo, se realiza un análisis exhaustivo de los esfuerzos y desplazamientos, tanto en frenada como en paso por curva. Dicho análisis se desarrollara a continuación.

En el apartado citado se determina que:

Las fuerzas que se soporta en frenada son:

- Fuerza Normal: se produce en el punto de contacto entre el suelo y el neumático.
- Fuerza de Rozamiento: se origina en el punto de contacto entre la rueda y el asfalto.

Las fuerzas que se soporta en la entrada en curva son:

- Fuerza Lateral: perpendicular a la dirección de marcha.

En el apartado “5.7 CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS” se determina que estas fuerzas toman los valores de 2000 N en el caso de la Fuerza Normal, 2400 N para la Fuerza de Rozamiento y 2000 N para la Fuerza Lateral.

Para llevar a cabo la simulación de los esfuerzos y desplazamientos que sufrirán las horquillas y la tija, se coloca una restricción total en el eje de la barra de dirección y se introducen los valores de las características que el programa requiere correspondientes al aluminio 5038 (H111).

Siguiendo estas condiciones se procede a desarrollar el análisis completo en cada una de las situaciones anteriormente mencionadas.

Como vimos en el apartado “4.7 CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS” las cargas son aplicadas en el punto de contacto entre el neumático y el asfalto, por lo que para simular dicho punto se prolongan las horquillas como podemos ver en la *Ilustración 79* del apartado “5.7 CARGAS PARA EL ANÁLISIS”. Al realizar el análisis del conjunto (tija y horquillas), el punto de máximo esfuerzo de nuestra tija no se corresponde con el mayor valor de la escala de esfuerzos. Este valor se encuentra fuera de la tija superior, elemento que analizamos.

6.1.1 SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA TIJA EN FRENADA

- *Tensiones Von Mises*

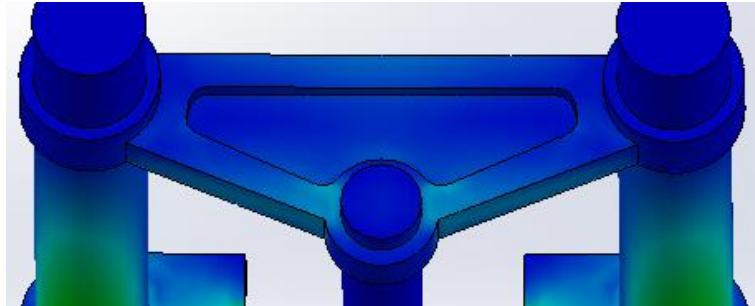


Ilustración 120 - Zoom de la tija en el análisis de Von Mises en frenada

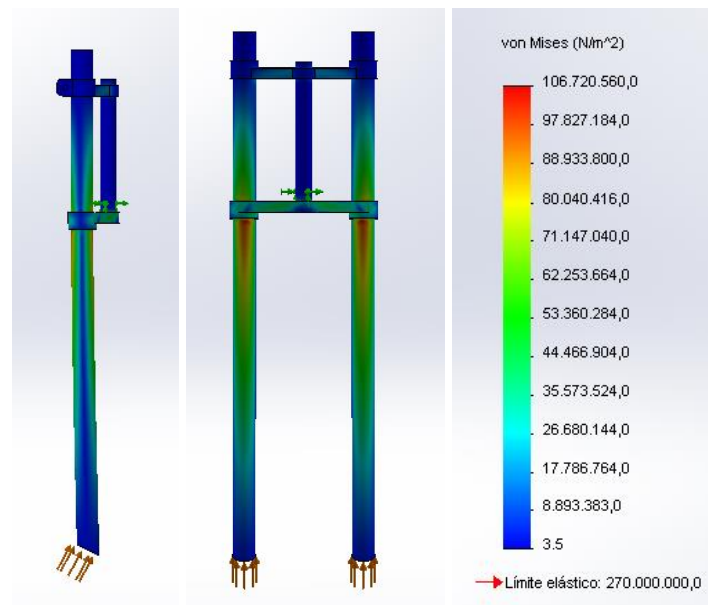


Ilustración 121 - Análisis Von Mises de la tija en frenada

- *Deformaciones Unitarias*

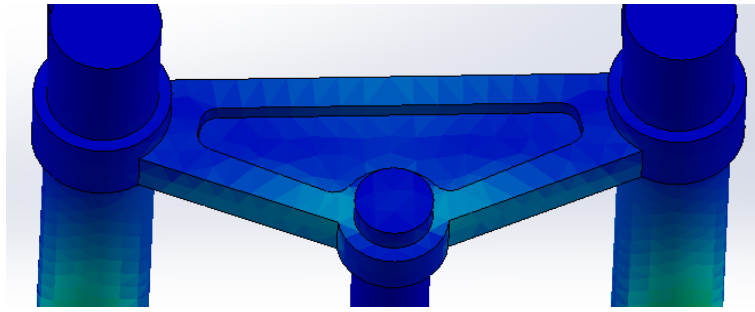


Ilustración 122 - Zoom de la tija en el análisis de deformaciones unitarias en frenada

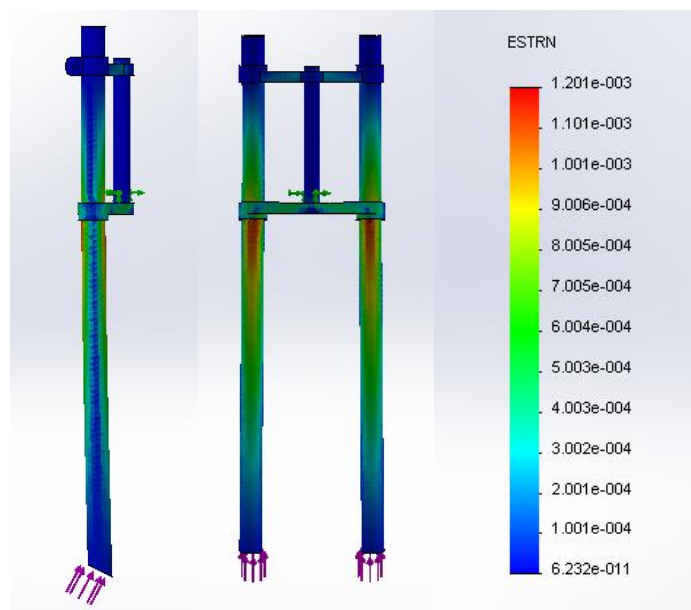


Ilustración 123 - Análisis de deformaciones unitarias de la tija en frenada

6.1.2 SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA TIJA EN CURVA

- *Tensiones Von Mises*

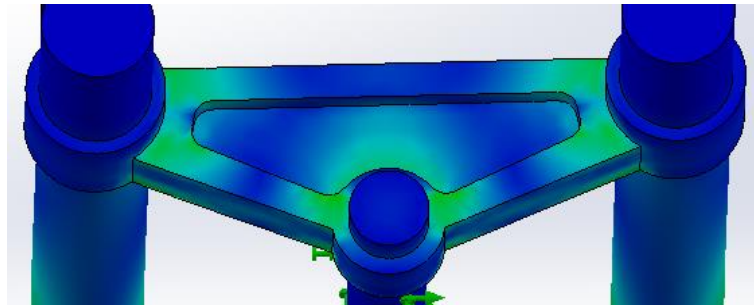


Ilustración 124 - Zoom de la tija en el análisis de Von Mises en curva

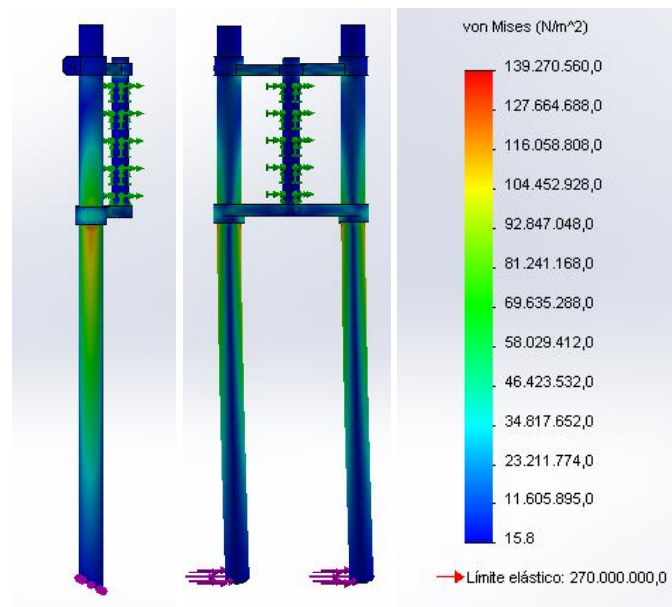


Ilustración 125 - Análisis Von Mises de la tija en curva

- **Deformaciones Unitarias**

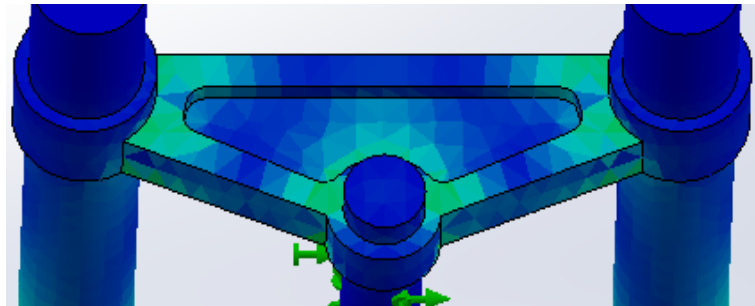


Ilustración 126 - Zoom de la tija en el análisis de deformaciones unitarias en curva

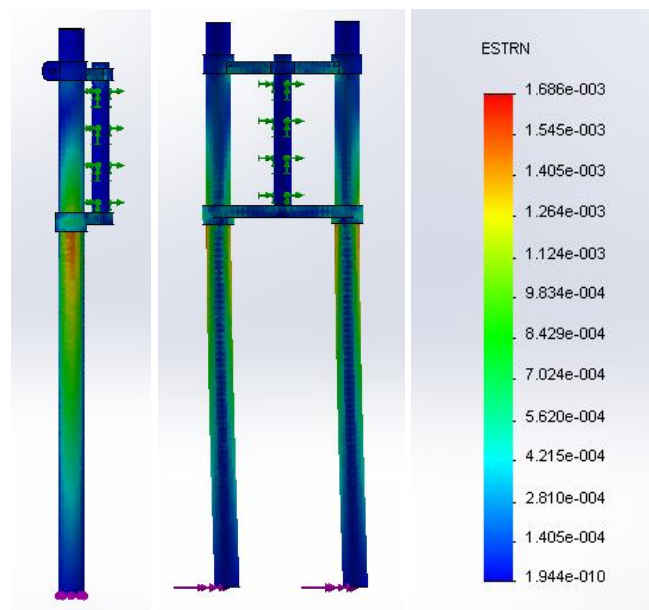


Ilustración 127 - Análisis de deformaciones unitarias de la tija en curva

Para verificar que el modelo seleccionado para ser presentado como prototipo (Diseño 3.0) es el adecuado, se analizan los resultados del análisis completo. A continuación se presenta la comparativa de los resultados del análisis MEF (*Tabla 11*), tanto la máxima tensión soportada Von Mises como el máximo desplazamiento unitario que sufrirá la pieza, todo esto en las diferentes condiciones posibles: frenada y entrada en curva

<i>Tija</i>	Tensión máx. soportada Von mises	Desplazamiento unitario máx.	Coefficiente seguridad
Simulación de Frenada	30.000.000 N/m ²	3.002e-004 mm	2.51
Simulación de Curva	80.000.000 N/m ²	7.024e-004 mm	1.82

Tabla 11 - Comparativa de resultados del análisis completo MEF de la tija propuesta (Diseño 3.0)

6.2 SIMULACIÓN DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: EL CHASIS

Al igual que en el apartado anterior, se someterá al chasis a un análisis exhaustivo de los esfuerzos y desplazamientos, tanto en frenada como en paso por curva. Dicho análisis se desarrollará a continuación.

En el apartado citado se determina que:

Las fuerzas que se soporta en frenada son:

- Fuerza Normal: se produce en el punto de contacto entre el suelo y el neumático.
- Fuerza de Rozamiento: se origina en el punto de contacto entre la rueda y el asfalto.

Las fuerzas que se soporta en la entrada en curva son:

- Fuerza Lateral: perpendicular a la dirección de marcha.

En el apartado “5.7 CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS” se determina que estas fuerzas toman los valores de 2000 N en el caso de la Fuerza Normal, 2400 N para la Fuerza de Rozamiento y 2000 N para la Fuerza Lateral.

Para llevar a cabo la simulación de los esfuerzos y desplazamientos que sufrirá el entramado de tubos se colocan restricciones totales tanto en el interior como en las caras planas exteriores de los casquillos de los tres anclajes del chasis con el motor: el delantero que unirá el chasis a la placa que rodea al motor, el superior y el trasero que une el chasis, el motor y el basculante. Además se debe introducir los valores de las características que el programa requiere correspondientes al acero ST 52-3(F112).

Siguiendo estas condiciones se procede a desarrollar el análisis completo en cada una de las situaciones anteriormente mencionadas.

Como vimos en el apartado “4.7 CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS” las cargas son aplicadas en el punto de contacto entre el neumático y el asfalto, por lo que para simular dicho punto se prolonga la barra de dirección como podemos ver en la *Ilustración 79* del apartado “5.7 CARGAS PARA EL ANÁLISIS”. Al realizar el análisis con la prolongación, el punto de máximo esfuerzo de nuestro chasis no se corresponde con el mayor valor de la escala de esfuerzos. Este valor se encuentra fuera del chasis, elemento que analizamos.

6.2.1 SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CHASIS EN FRENADA

- *Tensiones Von Mises*

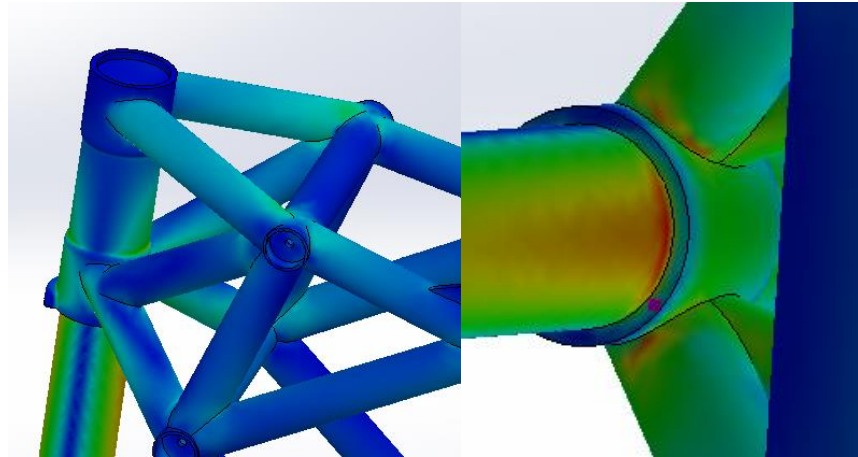


Ilustración 128 - Zoom del chasis en el análisis de Von Mises en frenada

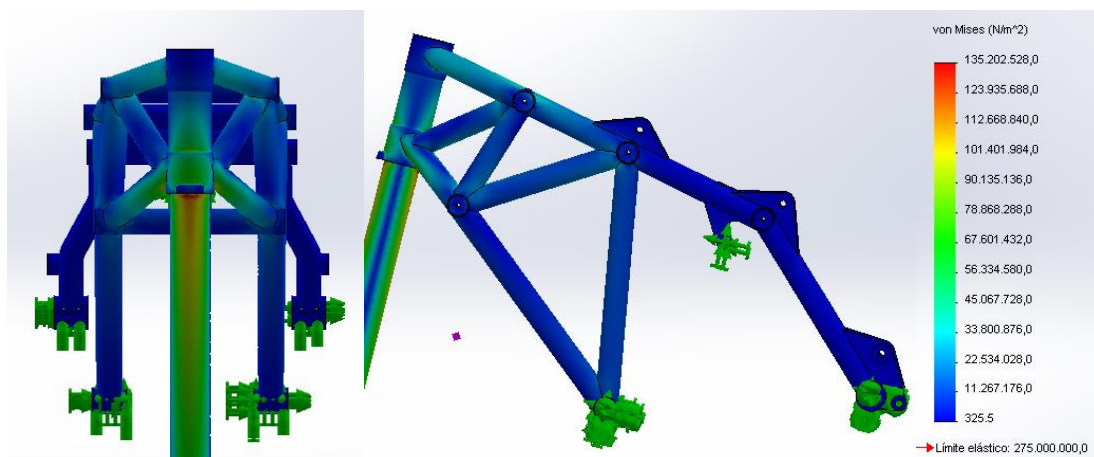


Ilustración 129 - Análisis Von Mises del chasis en frenada

- *Deformaciones Unitarias*

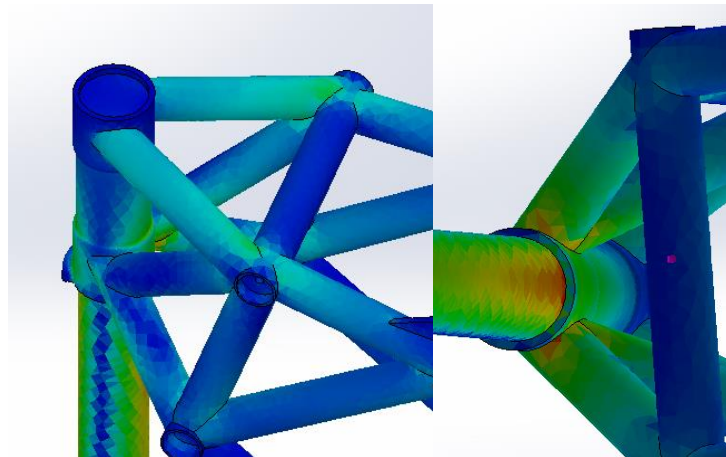


Ilustración 130 - Zoom del chasis en el análisis de deformaciones unitarias en frenada

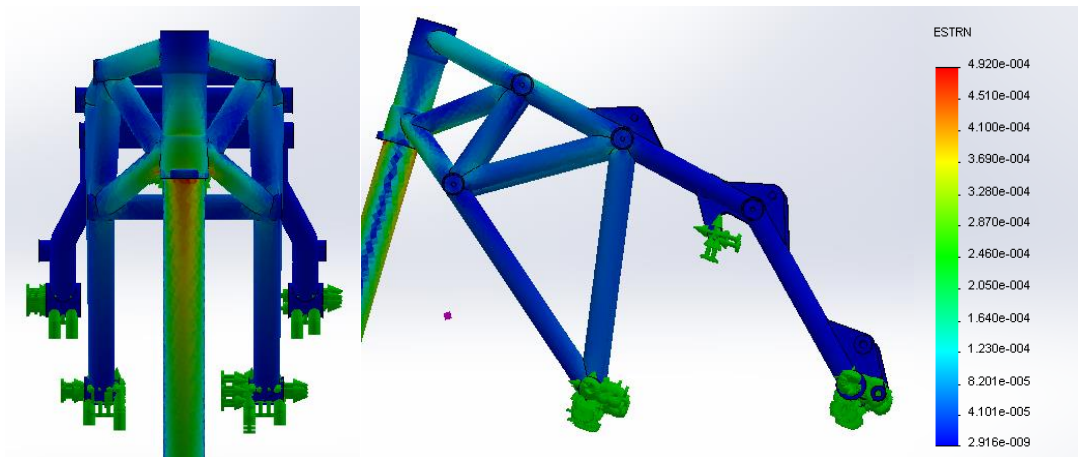


Ilustración 131 - Análisis de deformaciones unitarias del chasis en frenada

6.2.2 SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CHASIS EN CURVA

- *Tensiones Von Mises*

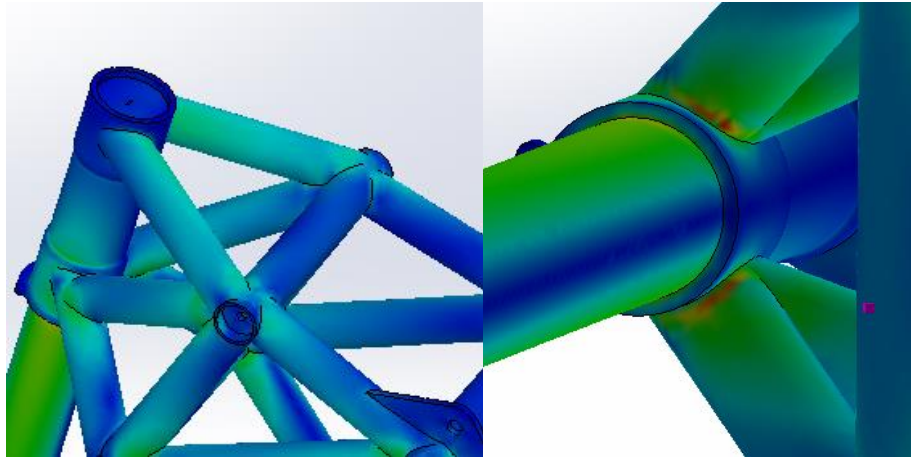


Ilustración 132 - Zoom del chasis en el análisis de Von Mises en curva

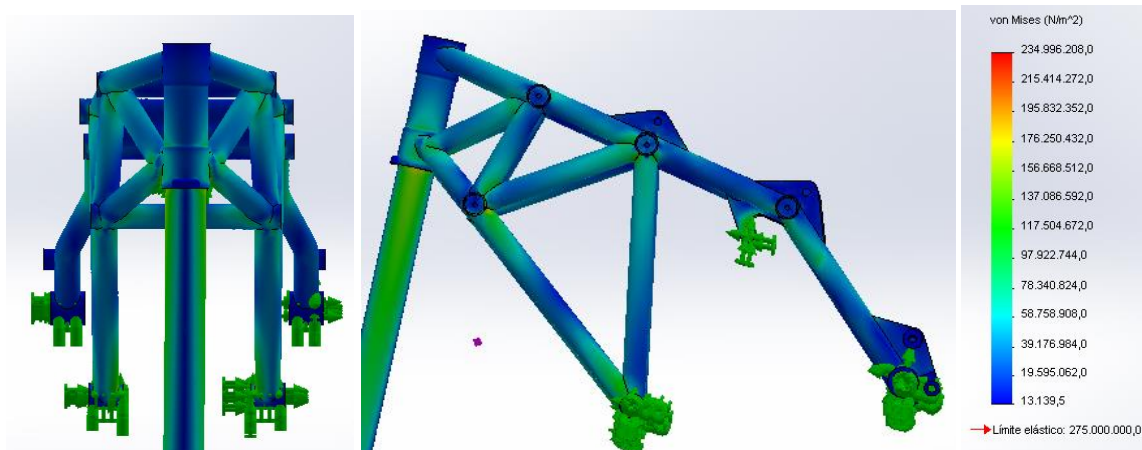


Ilustración 133 - Análisis Von Mises del chasis en curva

- *Deformaciones Unitarias*

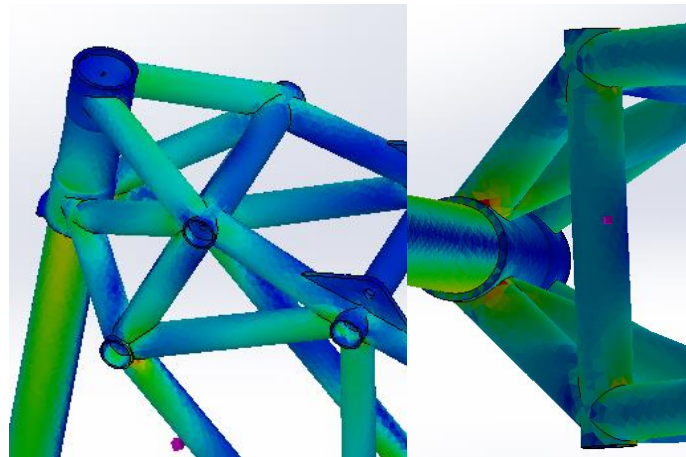


Ilustración 134 - Zoom del chasis en el análisis de deformaciones unitarias en curva

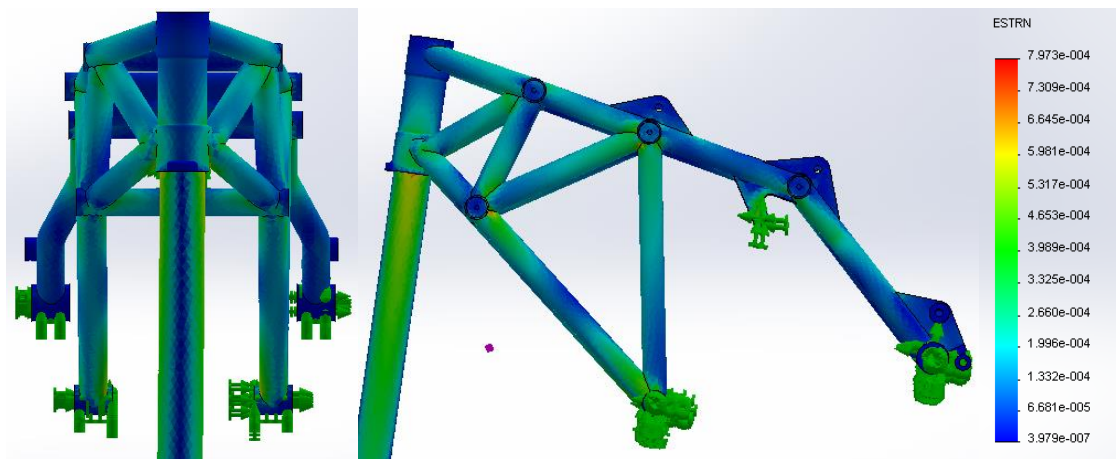


Ilustración 135 - Análisis de deformaciones unitarias del chasis en curva

Para verificar que el modelo seleccionado para ser presentado como prototipo (Diseño 7.0) es el adecuado, se analizan los resultados del completo análisis. A continuación se presenta la comparativa de los resultados del análisis MEF (*Tabla 12*), tanto la máxima tensión soportada Von Mises como el máximo desplazamiento unitario que sufrirá la pieza, todo esto en las diferentes condiciones posibles: frenada y entrada en curva.

<i>Chasis</i>	Tensión máx. soportada Von mises	Desplazamiento unitario máx.	Coefficiente seguridad
<i>Simulación de Frenada</i>	130.000.000 N/m ²	4.920e-004 mm	1.86
<i>Simulación de Curva</i>	220.000.000 N/m ²	7.973e-004 mm	1.25

Tabla 12 - Comparativa de resultados del análisis completo MEF del chasis propuesto (Diseño 7.0)

7. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LOS PROTOTIPOS SELECCIONADOS

7.1 INTRODUCCIÓN

Después de la etapa de estudio, diseño y análisis de todos los elementos que se plantean para formar el prototipo de motocicleta de competición, llega el momento de fabricar dichos elementos, si son aceptados como propuesta final. La fabricación del diseño de la tija es aceptada, por parte de la dirección técnica, y puesto que se trabaja en solitario en el sistema de dirección se procede a ella sin demora. La fabricación del diseño del chasis es aceptada, tras ser puesta en común con el resto del equipo y en comparación con los modelos de los demás diseñadores del área. Se deberá estudiar el proceso de fabricación más favorable para facilitar dicha tarea y reducir costes al máximo posible. En este caso se desarrollará el proceso de fabricación de los elementos primarios tratados en este documento como son la tija y el chasis, incluyendo todos los elementos auxiliares que estos requieren para su correcta utilización.

7.2 PROTOTIPO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL TIJA

Como hemos visto anteriormente, en este apartado se desarrollará tanto el estudio previo como el proceso de fabricación en si del elemento estructural del sistema de dirección como es la tija. En el apartado “5.8 DISEÑO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: LA TIJA” se desarrollaba tanto el proceso de diseño como el análisis MEF para establecer finalmente el diseño seleccionado para ser propuesto como candidato a formar parte de la motocicleta de competición que desarrollara el equipo UC3Moto, como equipo representante de la Universidad Carlos III de Madrid en la II Competición Internacional MotoStudent. En este apartado se determinaba como más favorable el diseño de la tija (Diseño 3.0), que podemos ver en la *Ilustración 136*, y al que someteremos a estudio a continuación para desarrollar el proceso de fabricación que se ha seguido.



Ilustración 136 - Diseño de la tija (Diseño 3.0)

7.2.1 MATERIAL Y CONSIDERACIONES

En el apartado “4.5 CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS” ya se detalló que el material que constituía el elemento tija era el aluminio 5038 (H111) cuyos valores característicos fueron introducidos en el programa de CAD (SolidWorks) para realizar la simulación de las distintos modelos de tija.

Se determinó el aluminio como material de fabricación para la tija debido a las ventajas que presentaba frente al acero. En primer lugar el aluminio cuenta con un peso mucho menor (2,7 kg/m³) en comparación con el acero (7,8 kg/m³) característica de vital importancia en una motocicleta de competición. Además el aluminio presenta una alta resistencia a la corrosión, sin tratamiento alguno, mientras que el acero está sujeto a la corrosión y necesita de recubrimientos periódicos. En general el acero tiene mayor resistencia a la tracción y contracción pero dado que la tija no soportara grandes esfuerzos el aluminio sigue siendo la opción más favorable. Ya que la pieza va a ser mecanizada, la ductilidad, facilidad de ser mecanizado, es una característica principal a tener en cuenta. En esta característica nuevamente el aluminio es más apropiado ya que presenta una mayor ductilidad. La única propiedad en la que el acero es más favorable es el coste, ya que este es más barato.

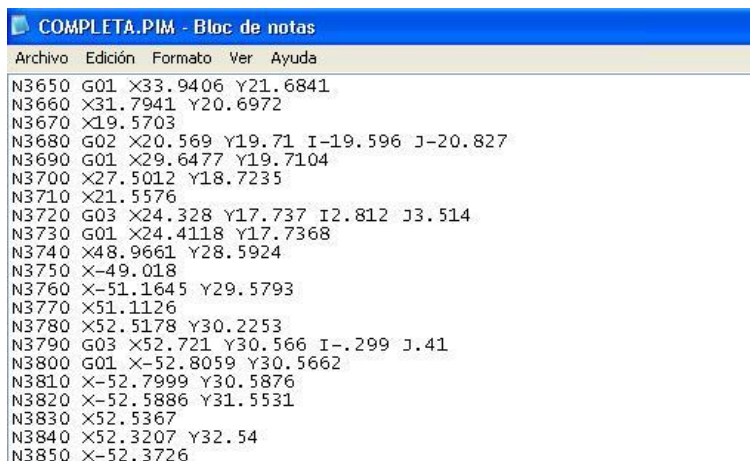
Tras analizar todo esto y disponer de los medios tanto técnicos como materiales, gracias a un colaborador, disponemos de total libertad para elegir el material deseado sin tener en cuenta el coste, ya que el material necesario será cedido. El material, por tanto, más favorable es el aluminio, concretamente el aluminio del que disponemos es el 5038 (H111) de grandes cualidades y en la media de todos los aluminios, como podemos ver en la *Ilustración 137*.

ALEACION NORMAS A.A.	CARGA ROTURA Rm - N / mm ²	LÍMITE ELÁSTICO Rp 0,2 - N / mm ²	ALARGAMIENTO A 5,65 %	DUREZA BRINELL HB
7075 - T7351	440	380	8	140
7075 - T6 / T651	470	400	5	130
2024 - T6	425	315	5	125
7020 - T6 / T651	350	290	10	120
2024 - T3	400	270	8	120
2007 - T3	340	220	8	115
2014 - T4	430	275	18	110
2007 - T4	330	210	7	110
2017 - T4	380	280	12	105
2011 - T3	380	295	15	100
8081 - T6 / T651	150	110	18	95
8082 - T6 / T651	295	250	8	95
2030 - T4	330	210	7	95
6060 - T6	190	150	8	85
6061 - H24	195	90	20	70
5083 - 0 / H111	270	110	16	70
5083 - T5	175	130	8	60
5154 - 0 / H111	215	85	16	55
5754 - 0 / H111	190	80	16	55
5251 - 0 / H111	160	60	16	45
1200 - H18	125	150	15	45
3003 - H14	130	110	8	45
5005 - H24	145	110	8	45
1050 - H18	165	150	15	43
1200 - H14	125	115	20	37
1050 - H14	125	115	20	35
1200 - 0	90	34	40	23
1050 - 0	90	34	40	21

Ilustración 137 – Comparativa de las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio

7.2.2 SIMULACIÓN CNC

El proceso de mecanizado necesario para la fabricación de la tija requiere un estudio previo que consta de la redacción del código G (*Ilustración 138*) y la simulación del mecanizado. Con la herramienta Mastercam, software de CAD-CAM que soluciona toda la problemática de fabricación, desde el diseño a la comunicación con la máquina, para automatizar la programación de las posibles máquinas, como tornos, fresadoras o centros de mecanizado desde 2 hasta 5 ejes simultaneos.



```
COMPLETA.PIM - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda

N3650 G01 X33.9406 Y21.6841
N3660 X31.7941 Y20.6972
N3670 X19.5703
N3680 G02 X20.569 Y19.71 I-19.596 J-20.827
N3690 G01 X29.6477 Y19.7104
N3700 X27.5012 Y18.7235
N3710 X21.5576
N3720 G03 X24.328 Y17.737 I2.812 J3.514
N3730 G01 X24.4118 Y17.7368
N3740 X48.9661 Y28.5924
N3750 X-49.018
N3760 X-51.1645 Y29.5793
N3770 X51.1126
N3780 X52.5178 Y30.2253
N3790 G03 X52.721 Y30.566 I-.299 J.41
N3800 G01 X-52.8059 Y30.5662
N3810 X-52.7999 Y30.5876
N3820 X-52.5886 Y31.5531
N3830 X52.5367
N3840 X52.3207 Y32.54
N3850 X-52.3726
```

Ilustración 138 - Código G del proceso de mecanizado de la tija

Este Software permite crear el código G, a partir del modelado 3D dibujado en CAD, y simula el proceso de mecanizado que seguirá la máquina (*Ilustración 139*) para comprobar el correcto funcionamiento del código G.

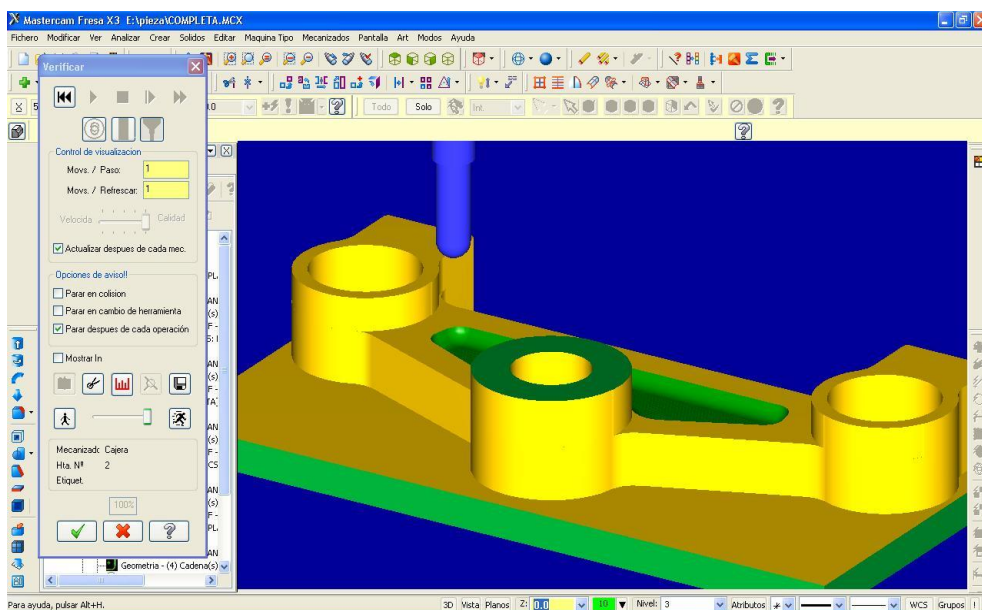


Ilustración 139 - Interfaz del software Mastercam durante la simulación de mecanizado de la tija

7.2.3 FABRICACIÓN DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL: TIJA

Gracias al proceso de mecanizado CNC, una vez tenemos el código G, la simulación del mecanizado hecha y comprobado que todo está correcto, el software Mastercam se encarga de la comunicación con la máquina en este caso una fresadora de 3 ejes.

El código G es enviado a la máquina, a través del software CAD-CAM, y esta trabaja vía CNC (Computer Numerical Control). Una vez es colocada la herramienta adecuada, el programa realiza el recorrido siguiendo las indicaciones que lee en el código G, mecanizando la pieza.

Debemos hacer mención a la importancia de la taladrina o aceite de corte, producto compuesto por agua y aceites, que se utiliza como lubricante y refrigerante en toda la industria en operaciones de mecanizado por arranque de viruta, como queda patente en la *Ilustración 140* que muestra en proceso de fabricación de nuestra tija.



Ilustración 140 - Proceso de mecanizado para la fabricación de la tija

Para terminar la pieza fue sometida a un proceso de pulido llamado arenado o por chorro de arena. Este proceso consiste en una técnica abrasiva de suavizado, limpieza y modelado de una superficie áspera y dura mediante la presurización de las partículas sólidas a alta velocidad sobre el material en cuestión. Este procedimiento se utiliza para un número de propósitos diferentes, incluyendo la limpieza y la decoración.



Ilustración 141 - Técnica de pulido mediante proceso de arenado

Además de la tija superior, vimos en el apartado “5.8 DISEÑO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: LA TIJA” distintos componentes de la barra de dirección, como el conjunto separador, arandelas y tuerca de fijación (*Ilustración 151*) o el conjunto arandela y tuerca de terminación (*Ilustración 152*), que debían ser diseñados y fabricados para poder completar el sistema de dirección. Estas piezas serán fabricadas en acero ST 52-3(F112), ya que son elementos de dimensiones más reducidas y no supone un aumento de peso elevado. Es uno de los aceros al carbono más comunes y goza de grandes propiedades mecánicas (*Ilustración 142*).

Aceros comunmente empleados

EU	DIN	AFNOR	IHA	tipo	REVENIDO				NORMALIZADO				BONIFICADO			
					Rm (Mpa)	Rp02	A%	HB	Rm (Mpa)	Rp02	A%	HB	Rm (Mpa)	Rp02	A%	HB
1045	C-45 (1.0404)	XC-45	F-114		450	320	10	140	300	225	24		440	300	20	
1020	C-22 (1.0402)	XC-25	F-112	aceros al carbono	510	380	98	155	440	245			530	350	19	135
1045	C-45 (1.0503)	C-45	F-114		660	500	6	206	590	325	23		700	470	13	247
1060	C-60 (1.0601)	C55	F-115		760	565		243	650	355	13		780	530	12	278
4135	34CrMo4 (1.7220)	35CD4	F-125	aceros de alta resistencia	780			223	850		11		1050	780	11	295
6150	50CrV4 (1.8159)	50CV4	F-143	aceros de muelles	800			241	850				1370	1180	6	47(HRC)
1010	C-10 (1.1121)	XC10	F-151	aceros de cementación	500			131	500				900		7	31(HRC)
4125	25CrMo4 (1.7218)	25CD4	F-222	aceros de fácil soldadura				217	600				930	740	12	320
		15CDV6						197	800				1080	930	10	

Ilustración 142 - Comparativa de las propiedades mecánicas de los aceros más comunes

A continuación se mostraran todos los elementos del sistema de dirección que han sido fabricados y su apariencia final.



Ilustración 143 - Conjunto separador, arandelas y tuerca de fijación de la columna de dirección

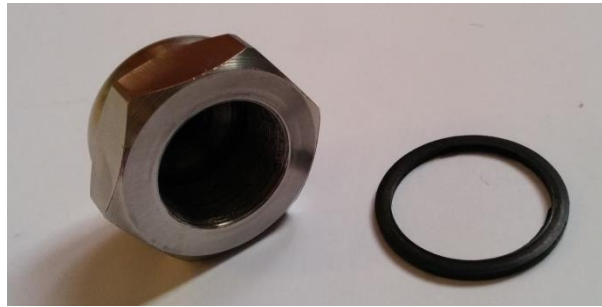


Ilustración 144 - Conjunto arandela y tuerca de terminación de la columna de dirección

Para cerrar este apartado se quiere mostrar el aspecto y acabado final que toma la pieza principal, la tija superior. En la *Ilustración 145* podemos ver la pieza en su totalidad y un detalle del grabado visible en el eje de dirección en el que nos encontramos un guiño al equipo UC3Moto (*Ilustración 146*).



Ilustración 145 - Acabado y apariencia final de la tija fabricada



Ilustración 146 - Detalle del grabado UC3Moto en la tija fabricada

7.3 PROTOTIPO DEL ELEMENTOS ESTRUCTURAL: CHASIS

Como hemos visto anteriormente, en este apartado se desarrollara tanto el estudio previo como el proceso de fabricación del conjunto estructural chasis – subchasis, como los elementos auxiliares necesarios para dicha fabricación como es el potro de soldadura. En el apartado “5.9 DISEÑO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: EL CHASIS” se desarrollaba tanto el proceso de diseño como el análisis MEF para establecer finalmente el diseño seleccionado para ser propuesto como candidato a formar parte de la motocicleta de competición que desarrollara el equipo UC3Moto, como equipo representante de la Universidad Carlos III de Madrid en la II Competición Internacional MotoStudent. En este apartado se determinaba como más favorable el diseño del chasis (Diseño 7.0), que podemos ver en la *Ilustración 147*, y al que someteremos a estudio a continuación para desarrollar el proceso de fabricación que debe seguirse.

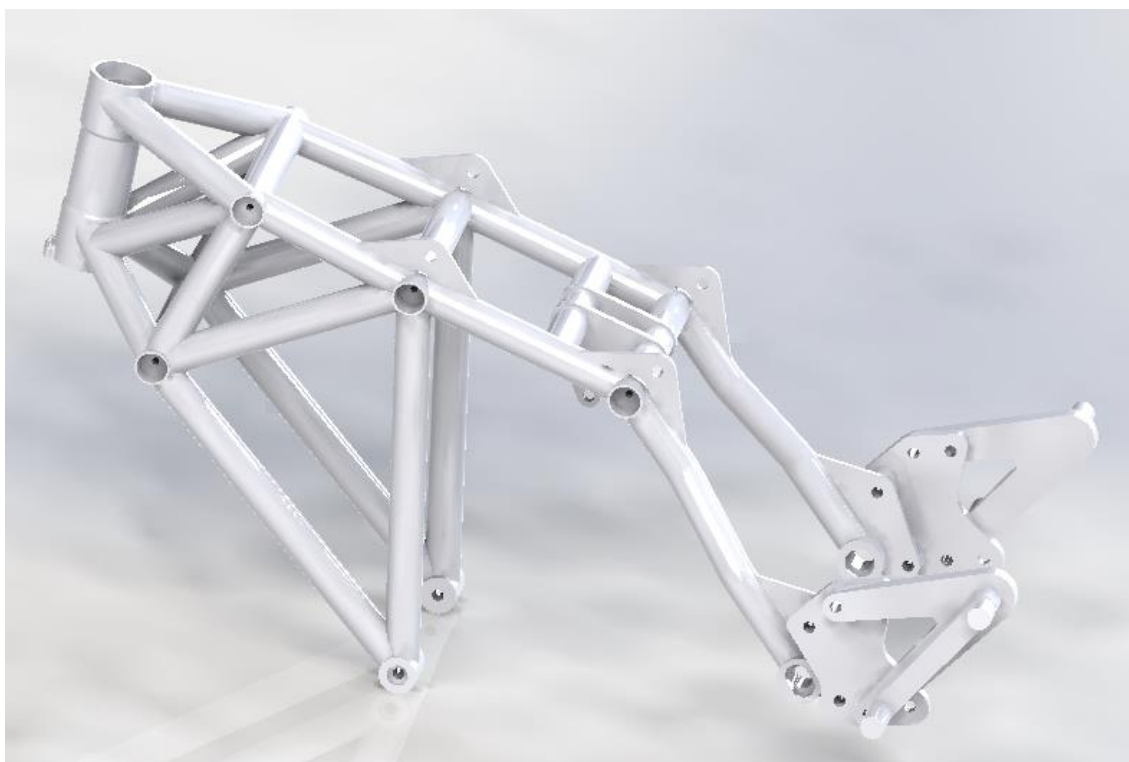


Ilustración 147 - Diseño del chasis (Diseño 7.0)

7.3.1 MATERIAL Y CONSIDERACIONES

En el apartado “4.5 CONDICIONES PARA EL ANÁLISIS” ya se detalló que el material que constituía el elemento chasis era el acero ST 275 J0 cuyos valores característicos fueron introducidos en el programa de CAD (SolidWorks) para realizar la simulación de las distintos modelos de chasis.

Se determinó el acero como material de fabricación para el chasis debido a la alta resistencia (*Ilustración 148*) y a las ventajas que presenta para realizar una estructura tubular. El acero pese a contar con una mayor densidad (7,8 kg/m³) en comparación con otros posibles materiales de fabricación, como el aluminio (2,7 kg/m³), resulta más ventajoso a la hora de la adquisición de los tubos necesarios, así como por su coste y sobre todo por mayor disposición al proceso de soldadura.

DESIGNACIÓN	Espesor nominal t (mm)				Temperatura ens. Charpy °C
	Tensión de límite elástico f _y (N/mm ²)			Tensión de Rotura F _u (N/mm ²)	
	t ≤ 16	16 < t ≤ 40	40 < t ≤ 63		
S235JR S235J0 S235J2	235	225	215	360	20 0 -20
S275JR S275J0 S275J2	275	265	255	410	20 0 -20
S355JR S355J0 S355J2 S355K2	355	345	335	470	20 0 -20 -20 (1)
S450J0	450	430	410	550	0

Los aceros tienen una serie de características comunes:

- módulo de Elasticidad (E) 210.000 N/mm²
- módulo de Rigidez (G) 81.000 N/mm²
- coeficiente de Poisson (ν) 0.3
- coeficiente de dilatación térmica (α) $1,2 \times 10^{-5} (^{\circ}\text{C})^{-1}$
- densidad (ρ) 7.850 Kg/m³

Ilustración 148 - Comparativa de las propiedades de los aceros estructurales

7.3.2 FABRICACIÓN DEL COMPONENTE ESTRUCTURAL: CHASIS

En el apartado “5.9 DISEÑO DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL: EL CHASIS” podíamos ver el diseño de la pipa de dirección necesario para el diseño de chasis propuesto. Al igual que la tija y los componentes de la barra de dirección, esta pieza fue mecanizada, en este caso en acero. El acabado de la pipa lo podemos ver en la *Ilustración 149*.



Ilustración 149 - Pipa de dirección del chasis

Dos de las tres uniones que tiene el chasis con el motor, la delantera y trasera, están formadas por piezas macizas mecanizadas (*Ilustración 150*) de nuevo en acero F112. Estas fueron encargadas a un taller externo.



Ilustración 150 - Piezas de unión macizas mecanizadas del chasis

Para la preparación del entramado de tubos que conforman el chasis se debe separar cada tubo y realizar el corte a medida para que encajen y puedan ser soldados posteriormente. Para que unos tubos encajen con otros se debe realizar la boca de pez en los extremos de los tubos (*Ilustración 151*).

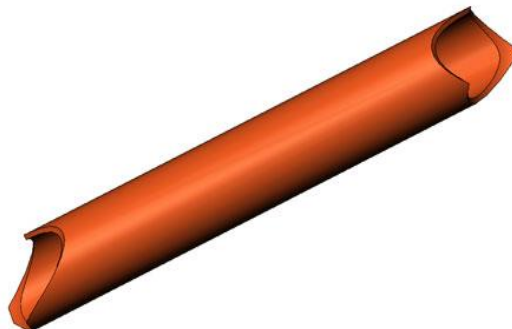


Ilustración 151 - Diseño de uno de los tubos del entramado que conforman el chasis

En un principio se realizarían los tubos mediante corte laser ya que este tipo de corte aporta una gran precisión. La dificultad de encontrar una empresa especializada en este tipo de corte que pudiera cumplir los plazos de tiempo necesarios y a un coste no muy elevado, nos llevó una vez más a decantarnos por una fabricación propia. Las bocas de pez se realizarían siguiendo el proceso a continuación descrito.

Una vez se tiene el tubo diseñado individualmente se procede, mediante el módulo de chapa del software SolidWorks, a convertir el tubo en una chapa plana, abriendo el desarrollo del tubo. Este proceso queda patente en la *Ilustración 152*.

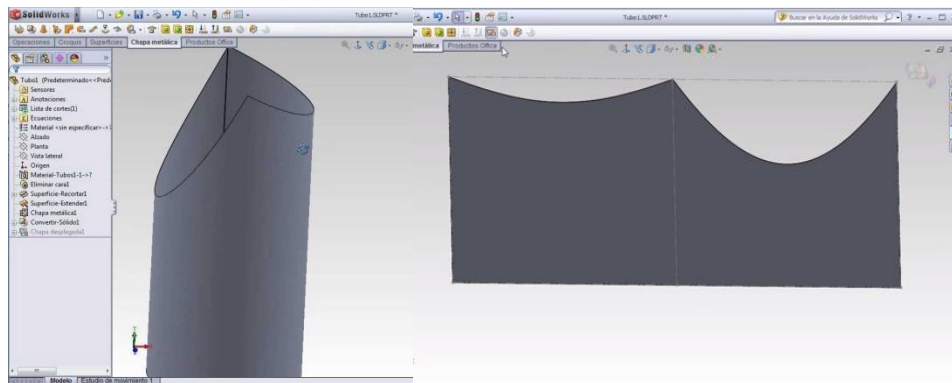


Ilustración 152 - Proceso de apertura del desarrollo de un tubo

Una vez tenemos la chapa con el desarrollo, se elabora el plano con escala 1:1 (*Ilustración 153*) para poder aplicarlo al tubo real. Enrollaremos el plano con el desarrollo en el tubo de acero y podremos marcar la línea de corte que ha de seguir el tubo para realizar la boca de pez que permita encajar unos con otros.

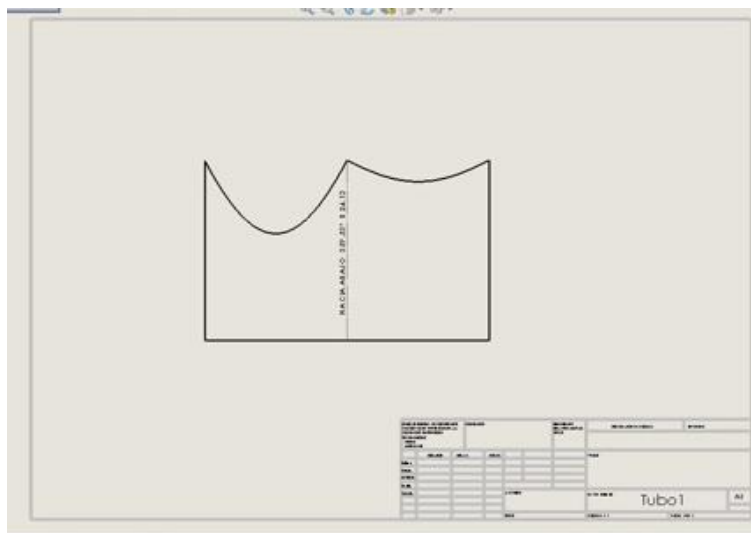


Ilustración 153 - Plano del desarrollo del tubo escala 1:1

7.3.3 DISEÑO DE ELEMENTO AUXILIAR: POTRO DE SOLDADURA

La intención inicial era que la estructura tubular que conforma el chasis fuera fabricada por un taller especializado en el que soldaran, con la precisión necesaria, dicha estructura. Tras las dificultades para encontrar y llegar a un acuerdo con un taller especializado, se decidió proceder a la fabricación propia. Para esta tarea se requiere la utilización de un potro de soldadura (*Ilustración 154*), que fija de manera rígida cada pieza en su posición exacta. La soldadura final será realizada por un profesional cualificado dispuesto a colaborar en este proyecto de forma desinteresada.



Ilustración 154 - Potro de soldadura para motocicletas personalizadas

Se diseñó un potro de soldadura con un concepto genérico, es decir, que sea útil para la fabricación de los prototipos de esta edición y todas las ediciones futuras. Esto se consigue generando un cuerpo principal robusto (*Ilustración 155*) que sirve de base, y diseñando una serie de conjuntos auxiliares de tubos y placas que serán específicas para los diferentes prototipos que se deseen realizar.

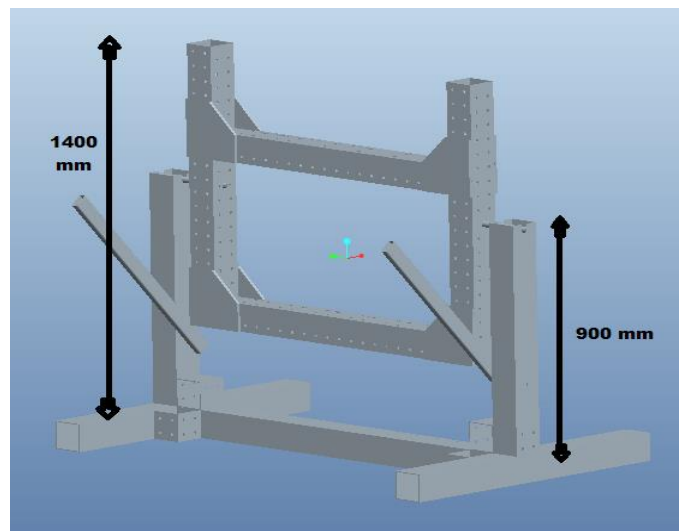


Ilustración 155 - Cuerpo principal que conforma la base para el potro de soldadura propio

El cuerpo principal está formado por tubo perforado de dimensiones 100 x 100 x 3 mm y tiene una altura total de 1400 mm. Los conjuntos auxiliares estarán formados por tubos rectangulares 50 x 25 x 3 mm y placas de chapa realizados mediante corte laser con las formas y dimensiones necesarias para ajustarse a cada pieza, por ejemplo, forma de media luna para sujetar firmemente el tubo, como podemos ver en la *Ilustración 156*.

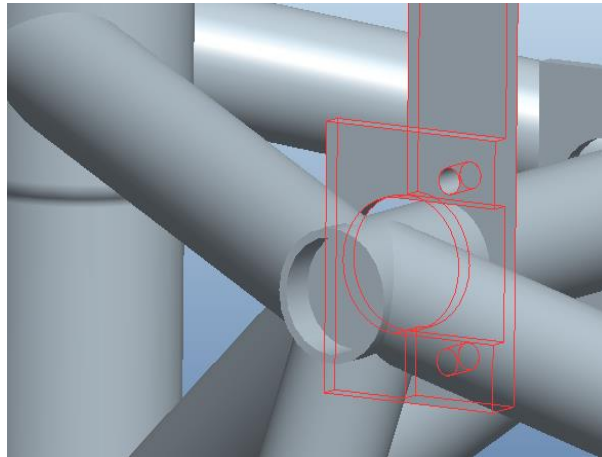


Ilustración 156 - Pieza auxiliar del potro de soldadura con forma de media luna

En la *Ilustración 157* se muestra el conjunto auxiliar, en este caso formado por tubos rectangulares, que es el encargado de fijar la pipa de dirección, pieza mecanizada, que une el sistema de dirección con el chasis y es la encargada de permitir el giro entre ellos.

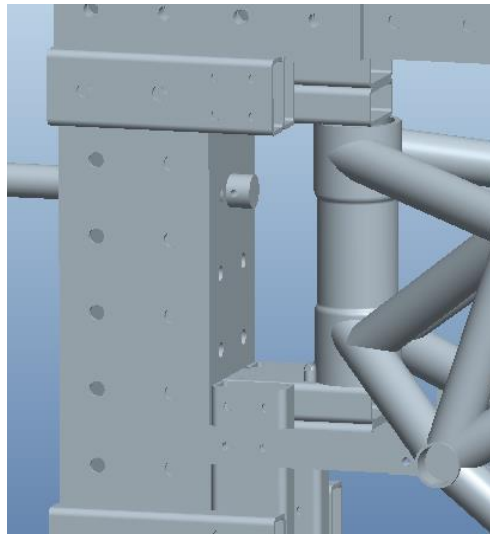


Ilustración 157 – Conjunto auxiliar del potro de soldadura formado por conjunto de tubos

El diseño del potro de soldadura al completo adquiere la apariencia final que podemos observar en la *Ilustración 158*. Todas las piezas del chasis quedan fijadas de forma rígida y el potro proporciona una situación idónea para la soldadura.

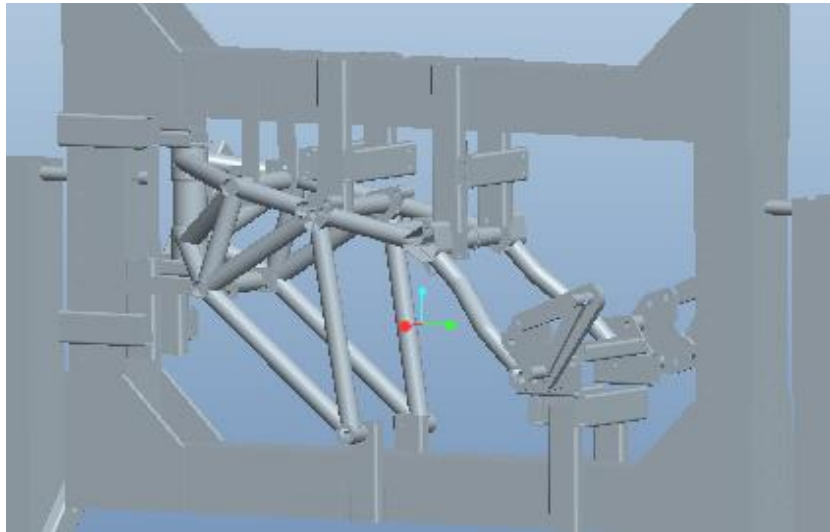


Ilustración 158 - Diseño del potro de soldadura al completo para el chasis

Al igual que el chasis, el subchasis seguirá el mismo proceso para su fabricación:

- se mecanizaran las piezas de unión
- se individualizara el diseño de cada tubo
- se realizara el desarrollo

El subchasis dispone de conjuntos auxiliares para poder fijarlo en el potro de soldadura y poder ser soldado, como se puede observar en la *Ilustración 159*.

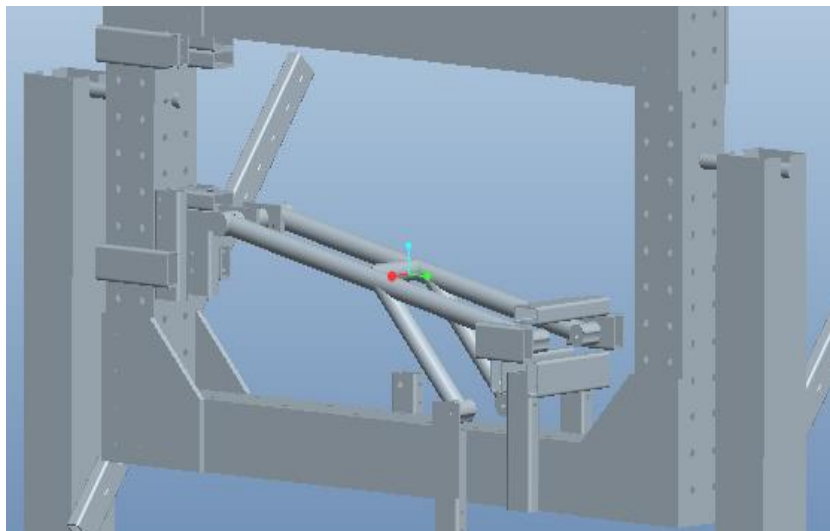


Ilustración 159 - Diseño del potro de soldadura al completo para el subchasis

Debido a la falta de medios y apoyo por parte de las empresas colaboradoras encargadas de la fabricación del chasis, ésta no llegó a realizarse a tiempo para la participación en la II Competición Internacional MotoStudent. A día de hoy en el que finaliza el presente proyecto, sigue el proceso de fabricación del chasis por parte de los miembros del equipo UC3Moto participantes en la III Competición Internacional MotoStudent.

El diseño del prototipo de motocicleta de competición quedó totalmente cerrado y en la *Ilustración 160* podemos ver dicho diseño.



Ilustración 160 - Diseño del equipo UC3Moto del prototipo de motocicleta de competición

8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

8.1 CONCLUSIONES

Este proyecto, que tiene como principal objetivo diseñar y presentar los prototipos para los elementos tija y chasis de una motocicleta de competición para la II Competición Internacional MotoStudent, ha conseguido cumplir su función.

El proyecto estudia el universo de las motocicletas de competición desde el punto de vista ingenieril, buscando las cualidades que requiere el diseño del prototipo. Se trata no solo de realizar el diseño siguiendo las restricciones que nos exige la competición, si no también realizar la mayor optimización posible del diseño propuesto, todo ello mientras se realiza un gran trabajo de colaboración y equipo, para coordinar e implementar cada diseño en un conjunto común.

El proyecto requiere la utilización de múltiples software de diseño y CAD/ CAM sin los cuales hubiera sido imposible la realización del mismo. Para el proceso de diseño se utiliza el software ProEngineer, ya que la organización otorga licencias académicas gratuitas y para evitar problemas de compatibilidades ya que la presentación de todos los diseños deberá realizarse en dicho programa. Los análisis de elementos finitos se realizan en SolidWorks ya que era el formato en el que se disponían estudios y análisis de la edición anterior y se podía realizar una mejor comparativa de resultados. Para la fabricación se requiere del software Mastercam que es el encargado de realizar el código la simulación y la comunicación con el centro de CNC. Para el encargo de piezas por corte laser a la empresa especializada, debe enviarse los diseños en formato dxf. del programa Autocad, en las común para estas empresas.

Los diseños seleccionados como propuestas, han seguido un criterio de selección mediante la metodología propia, en la cual se consideran los factores supuestos como más apropiados.

Se realizan varias propuestas de diseño, tanto para la tija como para el chasis, y se someten a un análisis preliminar en la situación considerada como más desfavorable, en frenada, que nos permitirá realizar la comparativa y establecer el criterio de selección para obtener el diseño propuesto final, tanto para el elemento tija (apartado 5.8.3) como para el elemento chasis (apartado 5.9.3).

Una vez tenemos los diseños propuestos finales de ambos elementos se les somete a un estudio más exhausto, en las situaciones más desfavorables, en frenada y entrada en curva. Los resultados de los ensayos han sido satisfactorios y no se han realizado cambios en el diseño puesto que ni siquiera las zonas más comprometidas del diseño que se han encontrado están cerca de los límites del material que compone los elementos. En ningún ensayo ni en ninguna zona de nuestros modelos hemos superado las capacidades del material y es algo muy positivo teniendo en cuenta la magnitud de los esfuerzos requeridos.

Se estudia el proceso de fabricación más apto para ambos elementos y se desarrolla al completo dicho proceso. Se realiza la fabricación de la tija en aluminio H111 siguiendo un proceso de mecanizado y posterior tratamiento superficial de arenado. La fabricación del chasis, aun por concluir, se realizara mediante el conjunto de piezas mecanizadas en acero F112 y el entramado de tubos de acero ST 275 JR de diámetro 30 mm y espesor 2 mm. Estas serán fijadas cada una en su posición exacta, con la ayuda de un potro de soldadura, para proceder a su ensamblaje y soldadura.

La situación recomendable sería la fabricación del chasis como del prototipo completo, visible en la *Ilustración 161*, para poder verificar, mediante ensayos en bancada y circuito, si realmente cumple con los datos obtenidos en los análisis.



Ilustración 161 - Diseño del prototipo completo

Con todo lo anteriormente expuesto se puede afirmar que se trata de un proyecto muy provechoso en el que se adquiere una gran experiencia, que no ha de terminar aquí, sino que mediante futuros trabajos se continúe desarrollando y complementando el aquí presentado hasta alcanzar el diseño final de la motocicleta original, fiable y competente para participar en competición.

8.2 TRABAJOS FUTUROS

El proceso seguido para el diseño, análisis y fabricación de los componentes de la motocicleta, la tija y el chasis, ha sido ampliamente desarrollado pero bien es cierto que para poder abordar todos los aspectos de interés en un proceso de esta envergadura se precisa de mucho más trabajo, que podrá ser desarrollado a posteriori, tomando como partida este proyecto.

A continuación se hará referencia a los pasos que deberían seguir a este proyecto para continuar con su evolución:

- Optimización del modelo
Este es uno de los aspectos que más valor puede aportar a nuestro proyecto, ya que permitiría mejorar los componentes con cuestiones como reducir el peso o simplificar la geometría del diseño, cuestiones cruciales en un proyecto así.
- Análisis completos
En este proyecto se han considerado para realizar los análisis las situaciones más desfavorables pero se pueden Continuar estudiando diferentes situaciones que representen la variedad de posibles situaciones a las que se debe enfrentar la motocicleta.
- Simulación del conjunto
Es importante no solo analizar los componentes si no realizar simulaciones del conjunto completo que forma la motocicleta para poder estudiar su posible comportamiento.
- Fabricación
Proceder finalmente a la fabricación de los componentes pendientes, buscando el apoyo necesario de personal cualificado.
- Ensayos en banco y circuito
Una vez esté terminado el prototipo, es de gran importancia realizar pruebas tanto en bancada como en circuito para determinar el correcto comportamiento y analizar los resultados de todos los estudios a realizar como son: análisis de las cargas sufridas mediante galgas extensiométricas, análisis térmicos, estudios de fatiga, análisis dinámicos y aerodinámicos, etc.

Tras la experiencia adquirida en este proyecto la principal tarea a realizar en el futuro más inmediato es la colaboración y asesoramiento de los participantes en el equipo UC3Moto de la Universidad Carlos III de Madrid en la III Competición Internacional MotoStudent. Para esta convocatoria el equipo reutilizará todas las piezas posibles de ediciones anteriores, entre ellas se encuentra la tija superior y elementos auxiliares, tratados en ese proyecto.

9. PRESUPUESTO

Se procede a desarrollar los costes que ha generado la realización de este proyecto, en cuanto a personal, medios, costes fabricación y costes indirectos.

Costes de personal

Este es el coste atribuible al personal necesario para la realización del proyecto y el más notable del mismo. Éste se calcula en función de las horas dedicadas. La elaboración del presente proyecto ha requerido un total de diez meses, un primer periodo de 6 meses con una dedicación semanal de 20 horas y un segundo periodo de 4 meses con una dedicación semanal de 15 horas.

Para el cálculo del coste de personal se diferencia entre las distintas actividades desempeñadas en ambos periodos, como la organización y gestión de información, diseño y modelado de los componentes, análisis y simulación de los mismos y la elaboración del proyecto. Cada una de ellas conlleva un coste distinto.

Recursos informáticos

Se considera el coste y la amortización del conjunto de equipos informáticos y licencias de software utilizados para realizar el proyecto.

Fabricación y Subcontratación

Se desglosan todas las tareas y actividades de fabricación que se han requerido mediante subcontratación a empresas externas o técnicos colaboradores incluyendo el precio del material necesario.

Costes Indirectos

Este apartado recoge los costes generales, desplazamientos, dietas, viajes, materiales fungibles, imprenta...

1.- Autor:
Lucía Fito Blázquez
2.- Departamento:
Ingeniería Mecánica
3.- Descripción del Proyecto:
- Titulo: Estudio, Diseño y fabricación de elementos primarios de una motocicleta
- Duración: 10 meses
-Costes indirectos: 15%
4.- Presupuesto total del Proyecto:
34.180, 00 €

5.- Desglose presupuestario					
PERSONAL					
Apellidos y nombre	Tarea	Categoría	Dedicación (h)	Coste (€/h)	Coste (€)
Lucía Fito Blázquez	Modelado, simulación y fabricación	Ingeniero Técnico Industrial mecánico	480	35,00	16.800,00
	Documentación y redacción de la Memoria		240	30,00	7.200,00
Total					24.000,00

RECURSOS INFORMÁTICOS					
Descripción	Coste (€)	% Uso dedicado proyecto	Dedicación (meses)	Periodo depreciación	Coste imputable (€)
Ordenador personal Asus X5DJI	600,00	50	10	12	250,00
Licencia ProEngineer	6.000,00	60	6	12	-
Licencia SolidWorks	6.000,00	60	6	12	1.800,00
Paquete Office 2012	1.000,00	40	4	12	130,00
Total					2.180,00

FABRICACIÓN Y SUBCONTRATACIÓN				
Descripción	Personal	Material	Coste (€)	Coste imputable (€)
Fabricación Tija superior	Técnico CNC	Aluminio	1.200,00	-
Fabricación Conjuntos auxiliares columna dirección	Técnico CNC	Acero F112	400,00	-
Fabricación Pipa de dirección	Técnico CNC	Acero F112	300,00	-
Fabricación Piezas macizas chasis	Taller Mecanizados	Acero F112	200,00	200,00
Adquisición Tubos Ø30x2 mm	Suministrador local	Acero ST275JR	120,00	150,00
Fabricación Potro de soldadura	Taller especializado	Acero ST275JR	3.200,00	3.200,00
Total				3.550,00

6.- Resumen de costes (€)	
Personal	24.000,00
Recursos informáticos	2.180,00
Fabricación y Subcontratación	3.550,00
Costes indirectos	4.450,00
Total	34.180,00

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de treinta cuatro mil ciento ochenta euros.

Leganés, a 19 de Marzo de 2014

El ingeniero proyectista

Fdo.: Lucía Fito Blázquez

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Reglamento deportivo MotoStudent v.01-11. Año 2011/2012*
- [2] *Reglamento técnico. Versión 1 15/01/11. Año 2011/2012*
- [3] *Catálogo de Repuestos de la motocicleta YZF 125R. Yamaha. Año 2008*
- [4] *Manual de Servicio YZF R125. Yamaha. Año 2008*
- [5] *"Motorcycle Design and Technology". Gaetano Cocco. Año 2004*
- [6] *"Motorcycle handling and chassis design: the art and science". Tony Foale. 2º Edition. Año 2006*
- [7] *"Motocicletas". Manuel Arias-Paz Guitián. 32º Edición. Año 2003*
- [8] *Patxi Vergara Culebras. Proyecto Fin de Carrera: "Modelado, Análisis y Simulación de un chasis de motocicleta". Universidad Carlos III de Madrid. Año 2011*
- [9] *Yolanda Colás Escandón. Proyecto Fin de Carrera: "Prototipo de chasis para MotoStudent. Diseño y estudio". Universidad Carlos III de Madrid. Año 2009*
- [10] *Aarón Collantes Gil. Proyecto Fin de Carrera: "Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición" Universidad Carlos III de Madrid. Año 2012*
- [11] *Sara Álvarez García. Proyecto Fin de Carrera: "Diseño de un basculante e integración del mismo en una motocicleta de competición". Universidad Carlos III de Madrid. Año 2012*
- [12] *Raúl Dorado García. Proyecto Fin de Carrera: "Pre-diseño, calculo y evolución del chasis de una motocicleta de competición". Universidad Carlos III de Madrid. Año 2013*

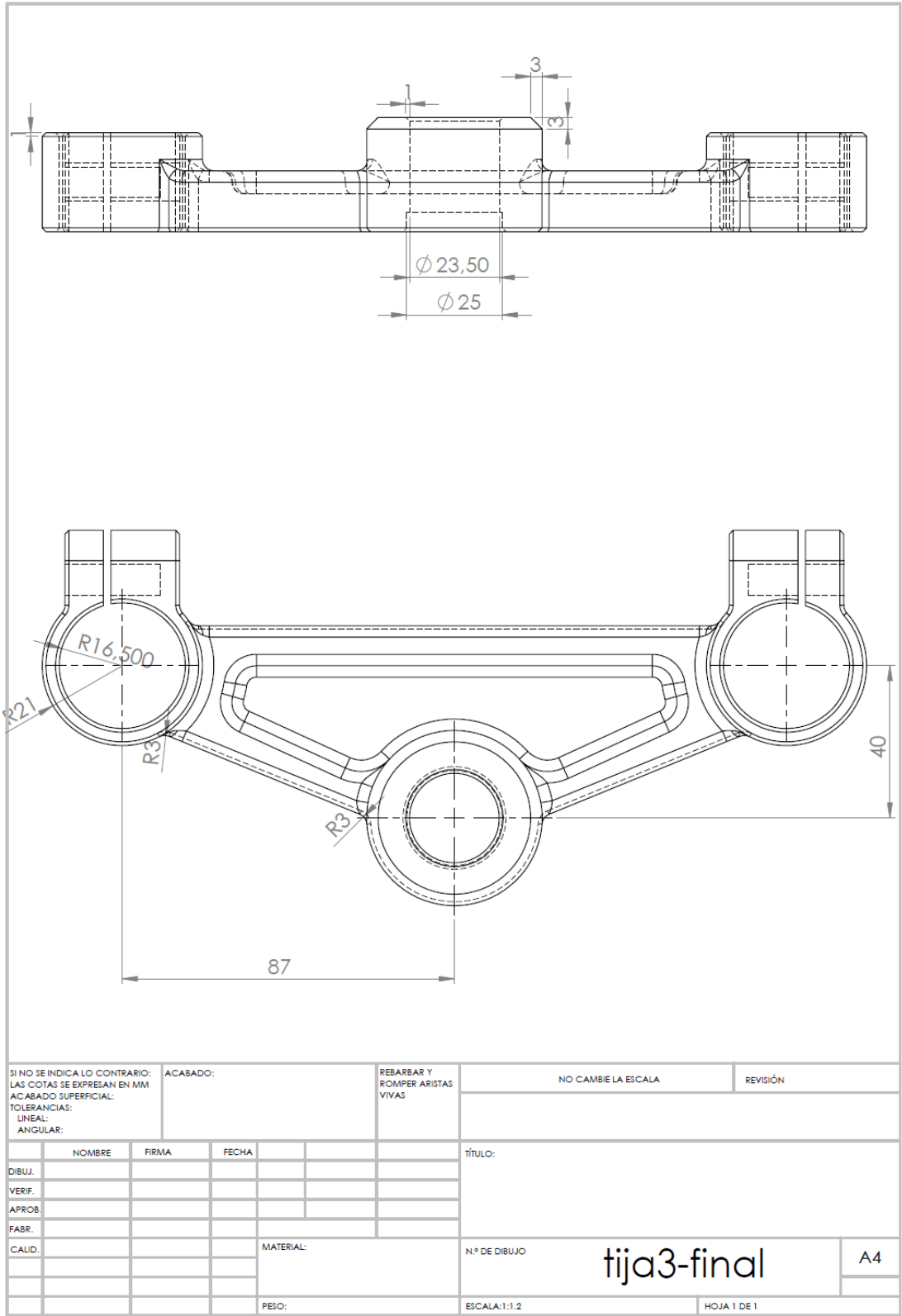
Referencias Web

- [13] <http://www.motostudent.com/> (20/12/2013)
- [14] <http://motomaqlabuc3m.freeiz.com/> (23/12/2013)
- [15] http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/actualidad_cientifica/noticias/motostudent_premio (23/12/2013)
- [16] <http://www.canariasenmoto.com/noticias/la-historia-de-la-motocicleta-un-resumen-en-imagenes.html> (25/12/2013)
- [17] <http://www.monografias.com/trabajos95/motocicleta/motocicleta.shtml#comienzosaxixzz2p00PBKFu> (29/12/13)

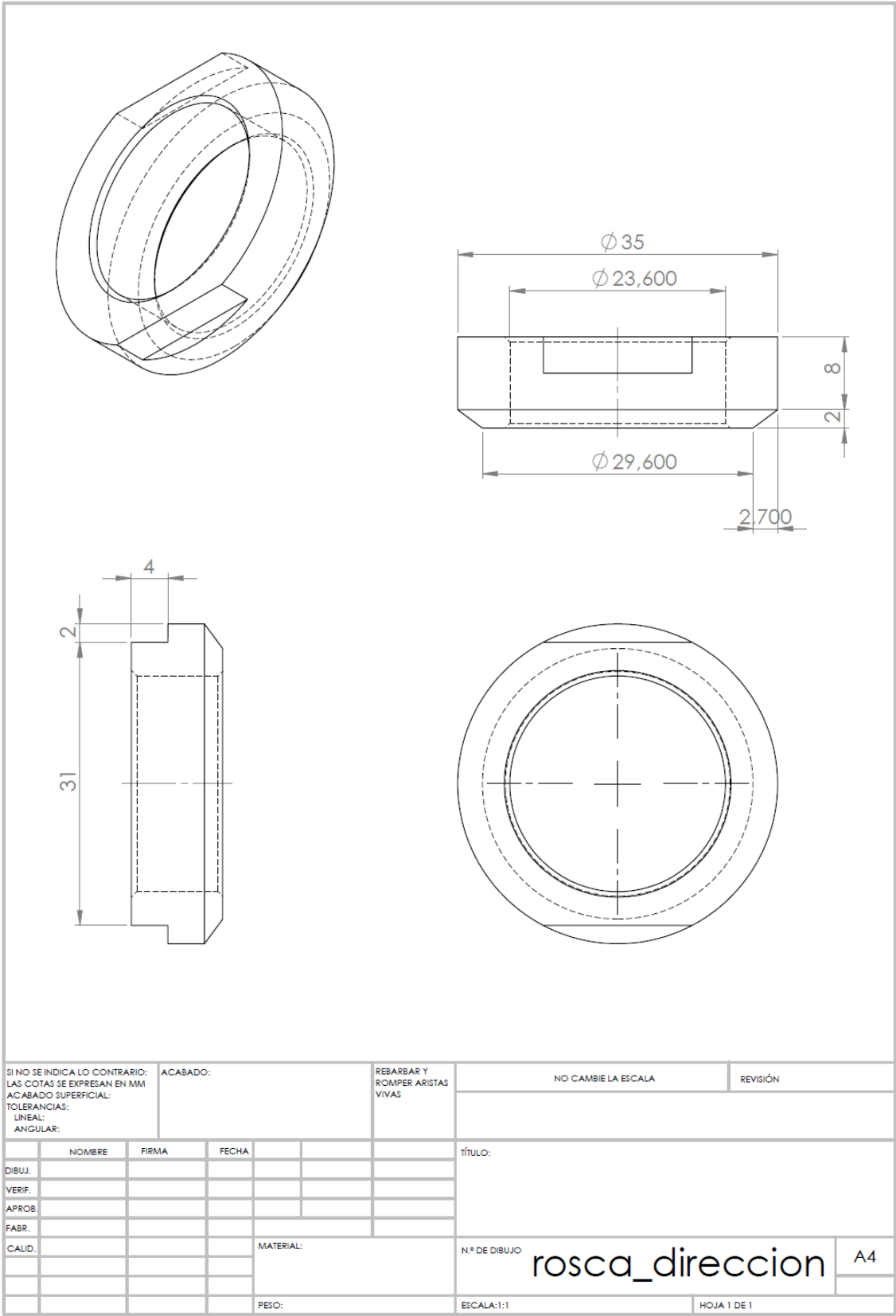
- [18] http://www.centrozaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R10_A1.pdf (29/12/13)
- [19] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3895/fichero/3.pdf> (11/01/14)
- [20] <http://mototuningr.blogspot.com.es/2012/12/yamaha-yzf-125.html> (12/01/14)
- [21] <http://www.vivetumoto.com/foros/llantas-neumaticos-motos-462/todo-sobre-neumaticos-llantas-gomas-motocicletas-393.html> (01/02/14)
- [22] <http://www.voromv.com/2010/09/conceptos-basicos-sobre-geometrias-y.html> (02/02/14)
- [23] http://www.gassattack.com/articulos_tecnicos/geometrias.pdf (02/02/14)
- [24] http://motos.coches.net/Mot_esp/noticias/geometria-basica-de-la-moto-4973-reno.htm?tipoNoticia=1 (08/02/14)
- [25] <http://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/21144/geometria-de-la-motocicleta/> (08/02/14)
- [26] <http://www.todocircuito.com/noticias/234-la-preparacion-fisica-en-el-motociclismo-i.html> (09/02/14)
- [27] http://www.lumetalplastic.com/dural_carac_mec.html (08/03/14)
- [28] <http://www.uib.es/depart/dfs/ca/MATERIALS2/Documents/2009-2010/TEMA%207%20ESTRUCTURAS%20DE%20ACERO.pdf> (09/03/14)
- [29] http://www.engi-com.com/aula_materiales.aspx (15/03/14)
- [30] http://www.ehowenespanol.com/tecnicas-pulido-chorro-arena-arenado-manera_140283/ (15/03/14)

ANEXOS

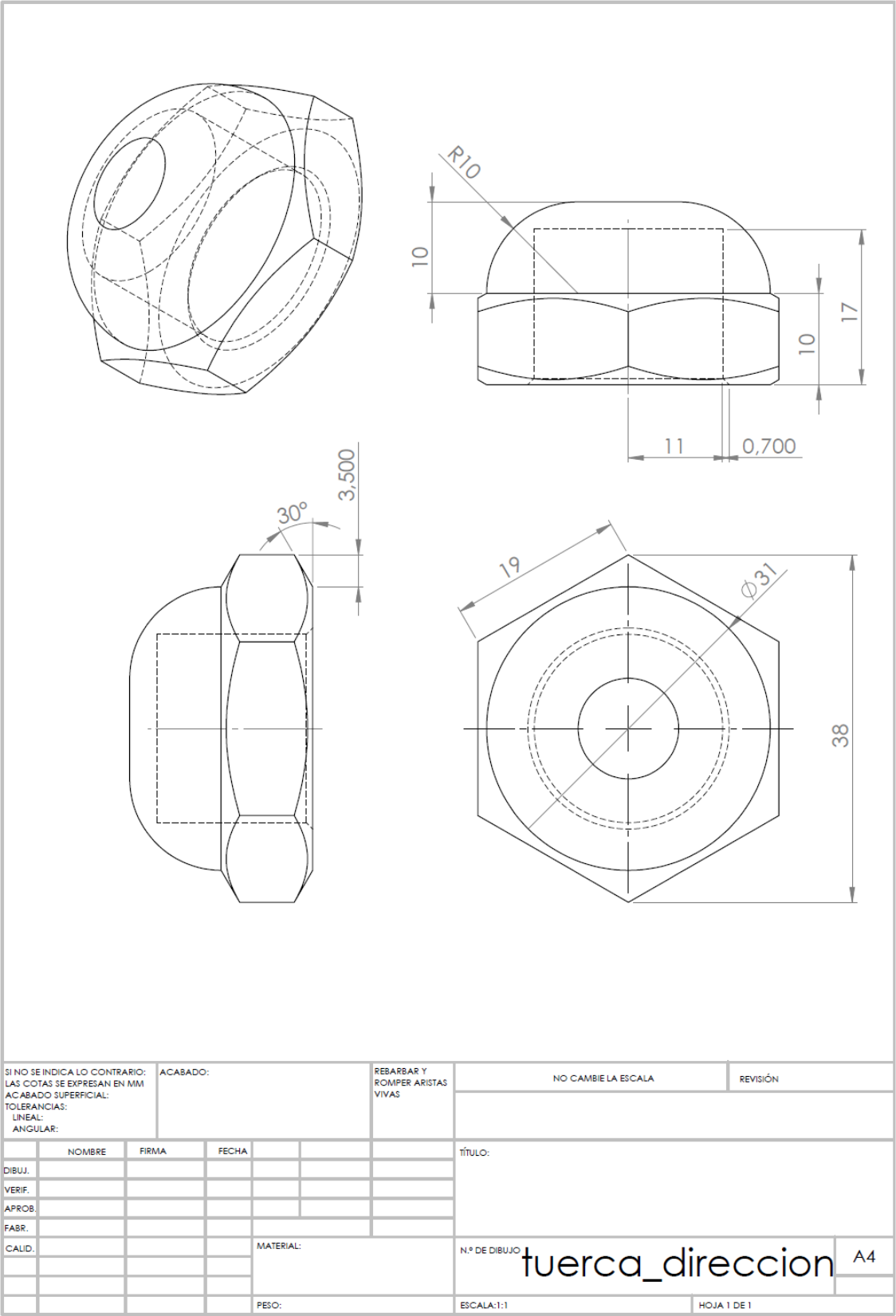
ANEXO A: PLANO DE LA TIJA



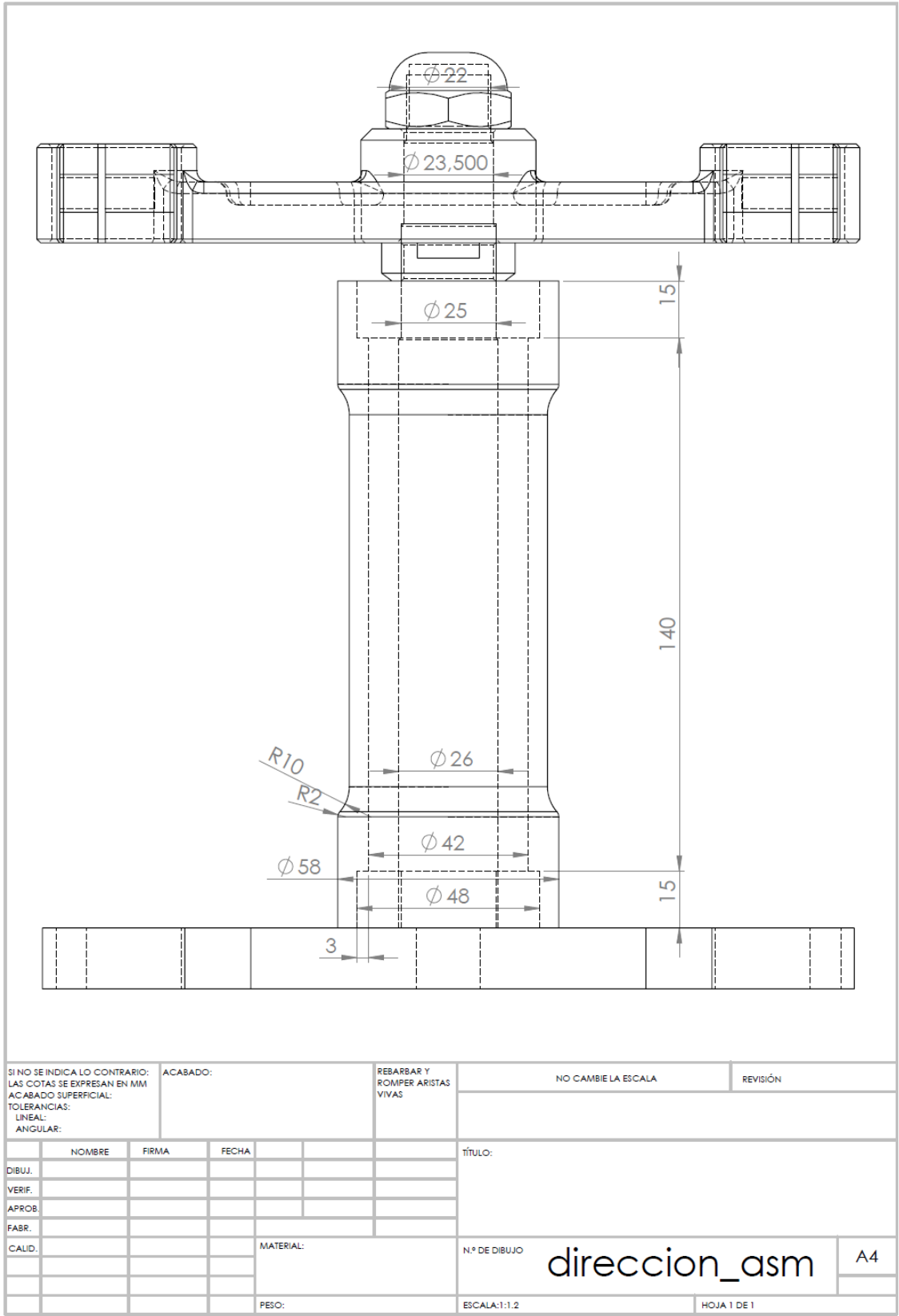
ANEXO B: PLANO DE LA TUERCA DE FIJACIÓN



ANEXO C: PLANO DE LA TUERCA DE TERMINACIÓN



ANEXO D: PLANO DE LA COLUMNA DE DIRECCIÓN



ANEXO E: PLANO DE LA PIPA DE DIRECCIÓN

